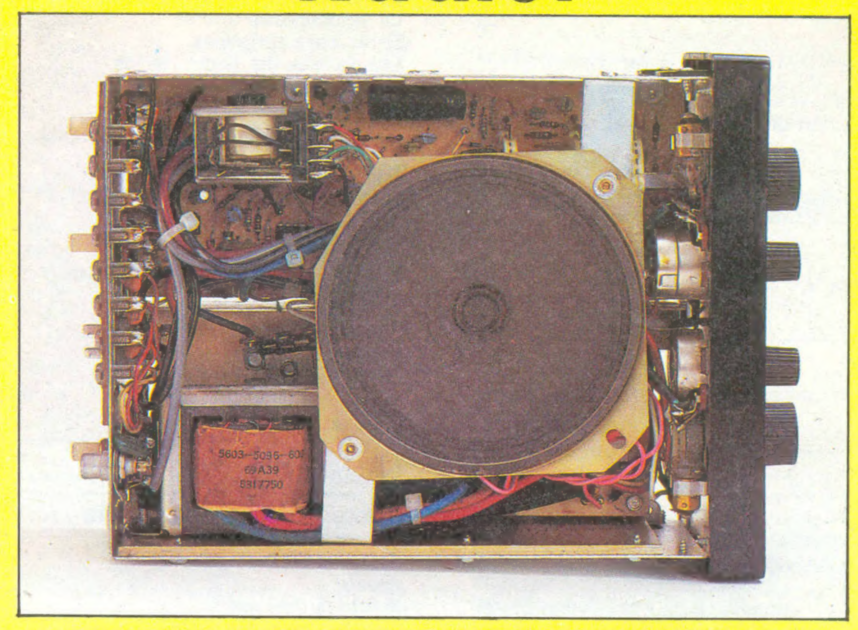
Gran Enciclopedia de la ELECTRONICA

EDICIONES NUEVA LENTE

Tomo 12

Radio.



Indice temático

La transmisión radio

DE todos es conocido la limitación que presentan las ondas sonoras cuando se pretenden establecer comunicaciones a medias y largas distancias. Ello indujo a muchos investigadores a una búsqueda de otras formas de enlace entre las personas que de alguna manera salvaran las dificultades de la comunicación directa.

Así, en la década de 1830, Morse puso en práctica la comunicación telegráfica, y no fue hasta 1876 en que Bell construyó el primer teléfono, resolviendo el problema de la comunicación hablada entre dos puntos lejanos.

Aún no era suficiente, pues tanto el telégrafo como el teléfono exigen que un cable comunique los aparatos transmisor y receptor. En 1888, el físico alemán Hertz comprueba la existencia real de las ondas electromagnéticas (que desde entonces llevan el nombre de *hertzianas*), y en 1897 Marconi realiza la primera comunicación de la llamada *telegrafía sin hilos*. A partir de aquí, la comunicación hablada con ondas hertzianas (la *radiotelefonía*) fue problema de unos pocos años.

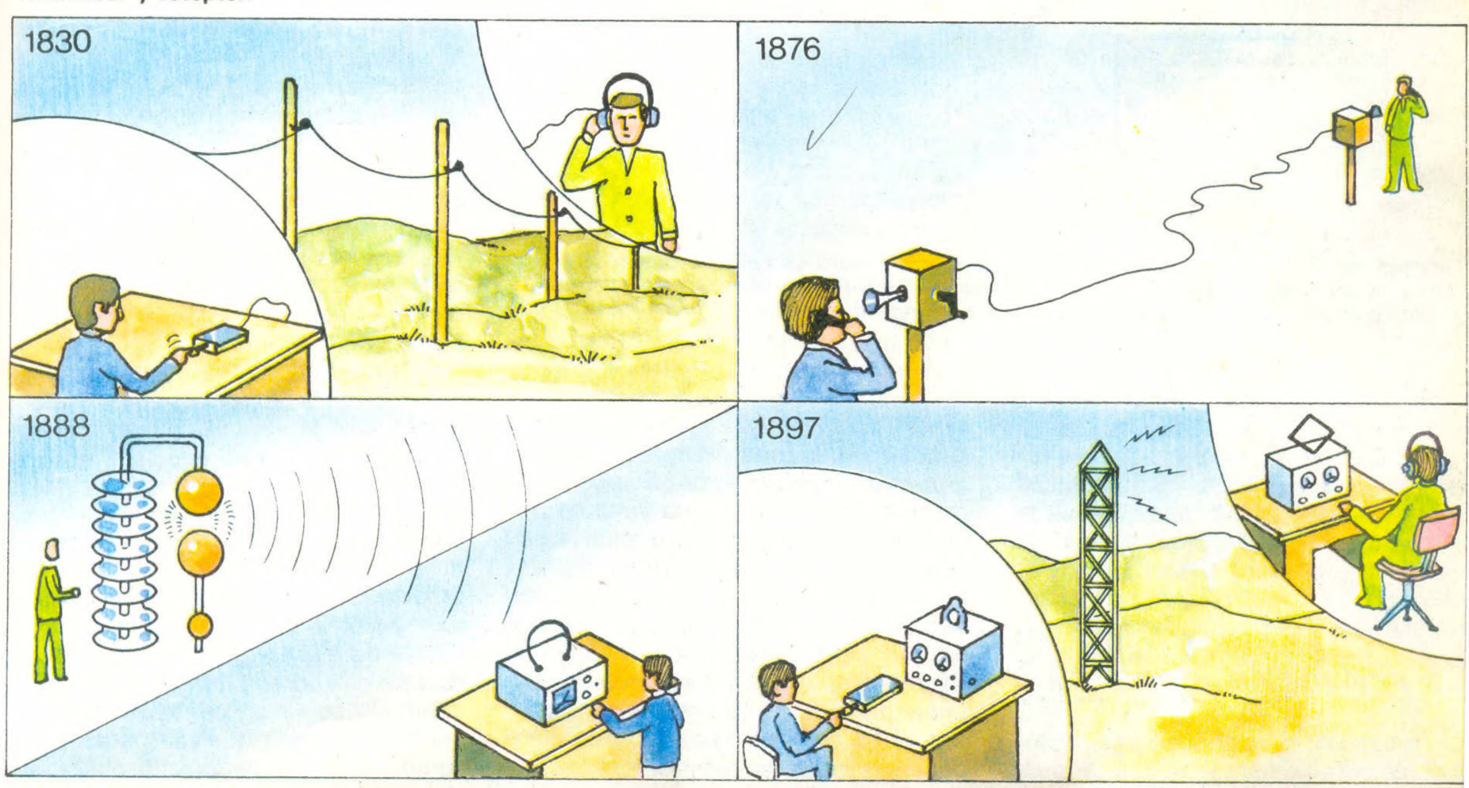
Fue posteriormente que se descubrió que las ondas hertzianas, u ondas radio, son de la misma naturaleza que la luz visible o los rayos infrarrojos, al igual que otras radiaciones por todos conocidas, como los rayos ultravioletas, los rayos X o las ondas utilizadas por el radar. Todas ellas pertenecen a la familia de las *ondas electromagnéticas*.

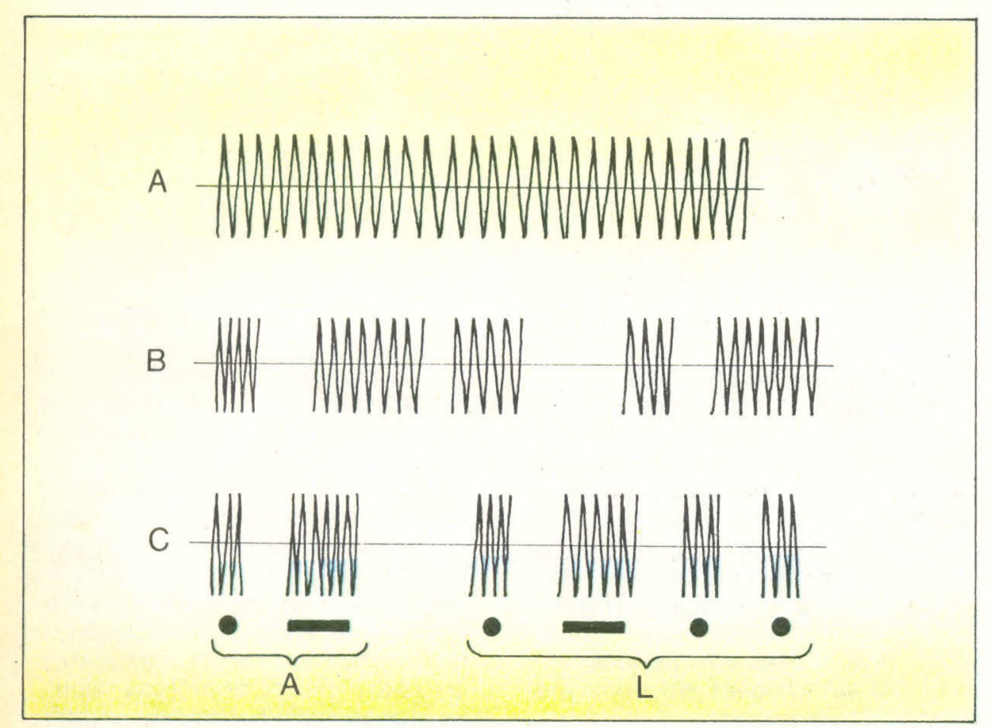
Este tipo de ondas presentan dos grandes ventajas frente a las ondas sonoras, en lo que a comunicación se refiere. En primer lugar, no necesitan de ningún medio «físico» para trasladarse (al contrario que las ondas sonoras, que necesitan de aire, agua o algún otro medio material); la prueba resulta patente: la luz del Sol y las estrellas (que, como luz, son ondas electromagnética) llegan hasta nosotros a través del vacío del espacio interestelar. La segunda ventaja es su velocidad de propagación; mientras las ondas sonoras en el aire viajan a 340 m/seg., las ondas electromagnéticas lo hacen a 300.000 km/seg. (cerca de un millón de veces más rápido).

A pesar de esta clara diferenciación entre los dos tipos de ondas, presentan muchos puntos de utilización comunes, razón por la que hemos insistido tanto en los medios empleados en la comunicación sonora. Por ejemplo, las ondas electromagnéticas también se atenúan con la distancia, y aproximadamente en la misma proporción que lo hacen las sonoras.

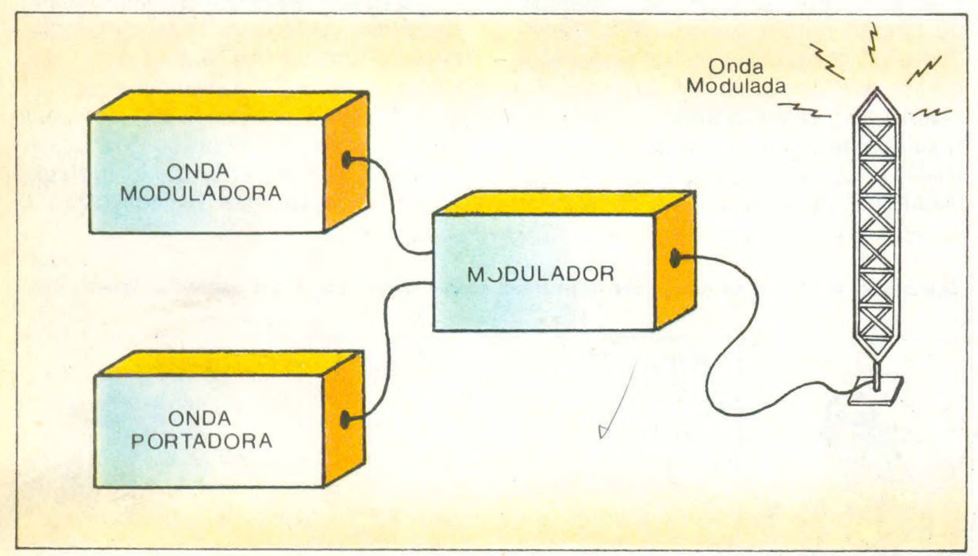
No obstante, algún lector se preguntará aún por qué razón, si ambos tipos de ondas tienen similares características de atenuación, llegan más lejos las radiaciones electromagnéticas. Es simplemente cuestión de números. Cualquier receptor de los que se encuentran actualmente en el mercado es 100 veces más sensible que el

Evolución de las comunicaciones eléctricas. No fue hasta 1897 que se consiguió la primera radiocomunicación sin contactos físicos entre transmisor y receptor.





Un método de comunicación empleando ondas de radio. Una onda portadora (A) puede interrumpirse (B). Si las interrupciones son ordenadas, y con ayuda de un código preestablecido, puede llegarse a comunicar entre dos puntos de una manera inteligible (C).



Principio de funcionamiento básico de un transmisor de radio. La onda portadora se «mezcla» en el modulador con la onda moduladora (la que lleva la «información» a transmitir). El resultado es la onda modulada que se lleva a la antena para ser radiada.

oído mejor dotado (cada uno en su campo), y hay emisoras que transmiten con una potencia 10.000 veces mayor que el grito más alto que pueda emitir una garganta humana. Sólo queda multiplicar, y sacar conclusiones.

La modulación

Sin embargo, lo anterior no resulta suficiente para nosotros, pues una onda electromagnética pura no es más que eso: una onda que no transporta ningún tipo de *información.* Si nos asomamos una noche a una ventana de nuestra vivienda, nuestro oído será capaz de percibir un cierto ruido, un rumor más o menos lejano, que no nos dirá más que algo o alguien lo está produciendo: son ondas sonoras *sin* información útil para nosotros. La primera idea que se nos ocurre para que una onda electromagnética lleve algo de información es interrumpirla a intervalos más o menos frecuentes. Así se dará paso a dos situaciones perfectamente diferenciables: hay onda, o no la hay. Incluso, podemos adelantar un poco más: los intervalos en que haya onda pueden hacerse de distinta duración, y así seremos capaces de distinguir no sólo la existencia o no de la onda, sino su mayor o menor duración.

Así fue como se realizaron las primeras transmisiones de radio, aprovechando un código que Morse había inventado años antes (el código Morse), consistente en asignar a cada letra, número y signo ortográfico uno o varios intervalos de distinta duración (conocidos como *rayas* y *puntos);* espaciando adecuadamente la transmisión de los «códigos» correspondientes a cada letra, puede enviarse un mensaje inteligible. El código Morse puede asimilarse al lenguaje hablado: mediante un acuerdo preestablecido y conocido, dos personas pueden comunicarse y entenderse por medio de sonidos.

Ya sabemos cómo imprimir «información» a una onda electromagnética. Sin embargo, este tipo de información requiere del aprendizaje del código Morse, igual que el lenguaje hablado requiere conocer el significado de cada palabra. Además, el código Morse no podría transmitir nunca información de tipo musical o visual, que son las que más fácilmente «traducimos».

Se llaman vocales, en lenguaje hablado, a las letras que se pronuncian con tan sólo emitir la voz. En castellano son cinco, y resulta muy fácil comprobar que una suena distinta de otra tan sólo con cerrar más o menos la boca, y con poner la lengua en una posición u otra. Se dice que *modulamos* la voz, porque lo único que hacemos es modificar una corriente de aire salida de nuestra garganta para que suene de una forma o de otra. La corriente de aire podemos llamarla *portadora,* pues es la que llevará o «portará» la *modulación* que le imprimamos con la boca y/o lengua. La portadora, por sí sola, no es sonido, no transporta lo que hemos llamado «información».

Esto tan sencillo y que tan habituados estamos a hacer a diario (simplemente, hablar) es lo que se hace en una emisora de radio. Se crea una *onda portadora* (el equivalente a la corriente de aire) que se lleva a un *modulador* (la boca y lengua) para que sobre ella se «imprima» la información que deseamos, que se materializa como *onda moduladora* (lo que nos-

otros queremos expresar con el lenguaje). El resultado final es la *onda modulada* (las palabras realmente pronunciadas), que será radiada al espacio para que otra u otras personas puedan recogerla e interpretarla.

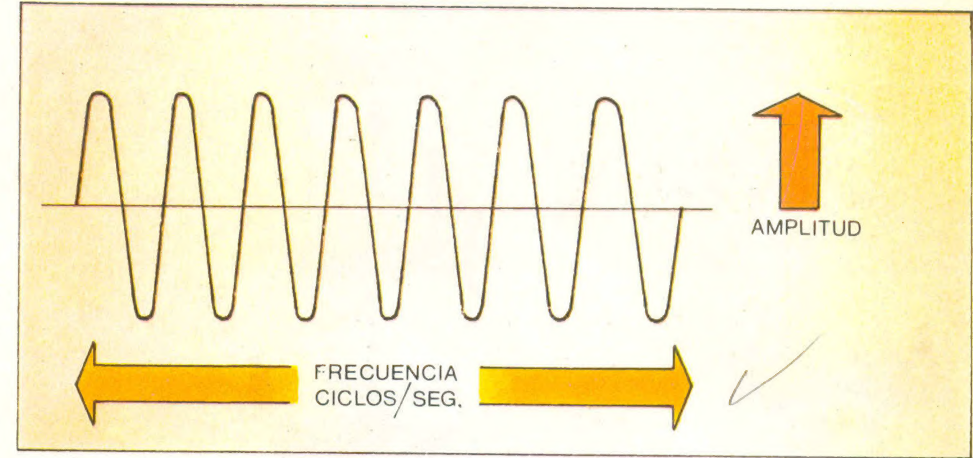
Tipos de modulación

Ya se han descrito dos de los parámetros más importantes de una onda, que son su amplitud y su frecuencia. La *amplitud* da idea del valor máximo que adoptará la onda, mientras que la *frecuencia* nos dirá los *ciclos* completos que se repiten en cada segundo. La forma de las ondas hertzianas es idéntica a las de sonido. La única diferencia (aparte de su naturaleza) está en la frecuencia. Mientras que en las sonoras audibles rara vez llegan a los 20 KHz, las de radio pueden llegar a tener frecuencias superiores a los 10 GHz (diez mil millones de ciclos por segundo).

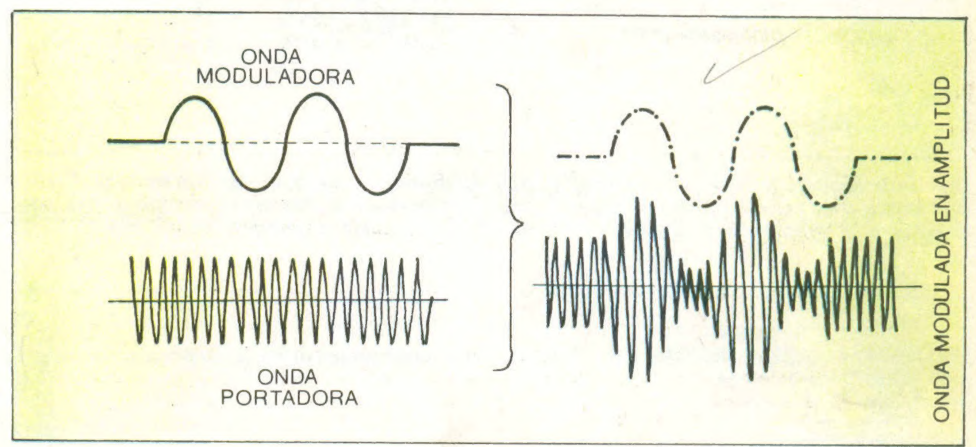
Aunque no lo hemos dicho explícitamente, ya hemos mencionado una forma de modulación cuando hablamos del sistema Morse. Se trata de dar amplitud máxima a la onda (cuando se transmite punto o raya) y amplitud cero (intervalo entre puntos y/o rayas). Es una modulación basada en el «todo» o «nada». Como vemos, en este caso lo que se modifica es la *amplitud* de la onda. Nos encontramos frente a la *modulación de amplitud*, que abreviaremos como AM.

Igual que hemos introducido la información en la portadora *modificando* uno de sus parámetros, la amplitud, también podríamos hacerlo modificando el otro parámetro antes citado, la frecuencia. Así, si nuestra portadora tuviera una frecuencia de, pongamos, 500 KHz, cuando quisiéramos transmitir un punto o una raya, podríamos cambiar la frecuencia a 510 KHz. Esa variación de 10 KHz en la frecuencia la interpretaría el receptor como la transmisión de un punto o una raya, según la duración. Así habremos hecho una *modulación de frecuencia*, que notaremos como FM.

Existen más tipos de modulación, como son la de fase, por impulsos, etc., pero sólo nos interesan las dos ya citadas, y lo que es verdaderamente importante es hacerse a la idea de que para *modular* una onda, hay que *modificar* alguno de los parámetros que la definen. Una onda portadora *no* posee en sí ningún tipo de información que pueda resultarnos útil.



Dos de los parámetros más importantes de una onda de radio son su amplitud y su frecuencia.



Esquema de funcionamiento de una modulación de amplitud. La amplitud de la onda portadora se modifica con arreglo a las variaciones de la moduladora. Los «picos» de la onda modulada tienen una forma idéntica a la onda moduladora.

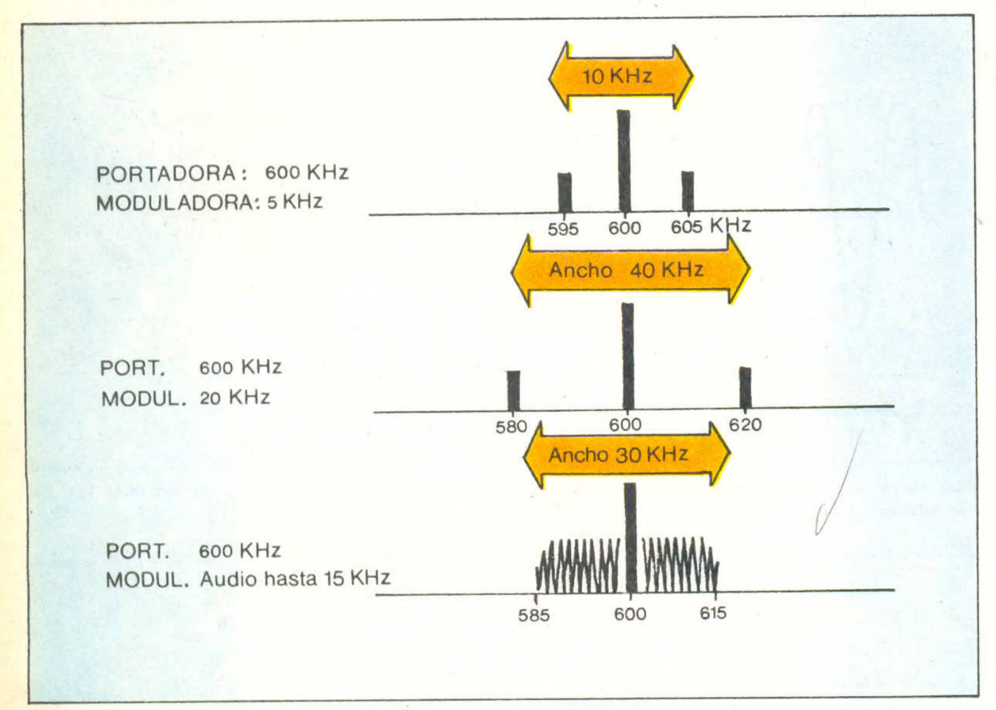
La modulación de amplitud

Puesto que la señal de audio es variable, podemos hacer variar la amplitud de la portadora al ritmo de la de audio. El receptor le diseñaremos de forma que sea sensible *sólo* a dicha variación de amplitud, que será precisamente la señal de audio que queremos transportar. Como vemos, la portadora es sólo el caballo que transporta el jinete que es la señal de audio. No nos sirve nada más que para conseguir que el jinete llegue más lejos que podría hacerlo por sus propios medios.

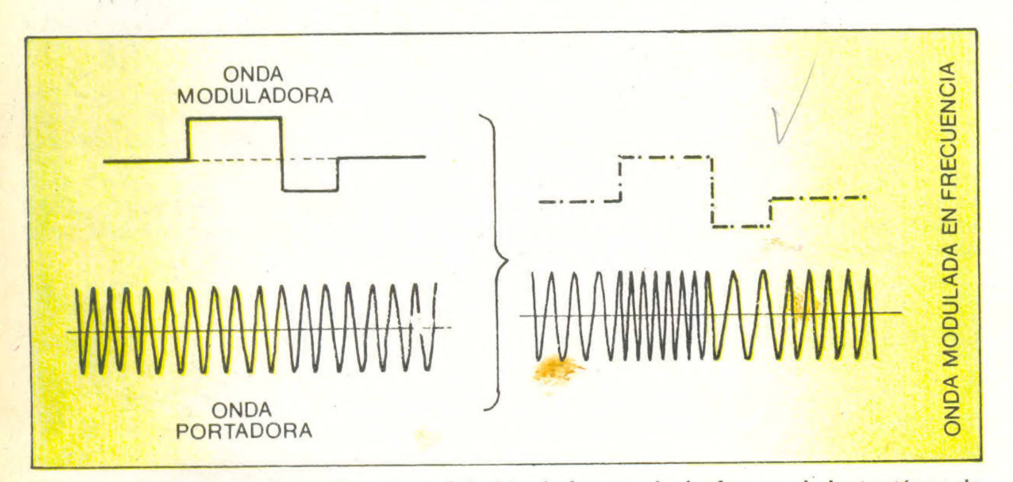
Aunque el proceso de modulación es tan sencillo como acabamos de exponer, al estudiar la onda modulada que transmitimos aparecen algunas complicaciones. Pongamos un ejemplo para verlo con mayor claridad. Supongamos que nuestra portadora tiene una frecuencia de 600 KHz, y que la modulamos en amplitud con una señal de audio de 5 KHz. Se puede demostrar matemáticamente que la onda modulada (frecuencia 600 KHz, y amplitud variando continuamente a razón de 5 KHz) es equivalente a tres ondas, una de 600 KHz, otra de 605 KHz y una tercera de 595 KHz. Si la frecuencia de la onda moduladora (la señal de audio) fuera de 20 KHz, la onda modulada seguiría siendo equivalente a otras tres, ahora de frecuencias 600, 620 y 580 KHz.

Si ahora queremos transmitir una reproducción musical que está compuesta por señales de frecuencia de hasta 20 KHz, la onda modulada se podrá descomponer como una componente central de 600 KHz y dos *bandas laterales*, una a cada lado de la frecuencia central, ocupando un ancho cada una de 20 KHz, esto es, la onda modulada ocupará una banda de frecuencias comprendida entre 580 y 620 KHz. Podríamos asimilar la formación de las dos bandas laterales a la modulación de amplitud que sufren tanto los semiciclos positivos como los negativos de la portadora.

Como fácilmente se comprende, y esto es importante, el *ancho de banda* ocupado por una transmisión de MA



Una onda modulada en amplitud tiene varias componentes de distintas frecuencias. Siempre existe una componente correspondiente a la portadora; las otras componentes son debidas a la moduladora, siendo su amplitud y frecuencia dependientes de ella.



Esquema de funcionamiento de una modulación de frecuencia. La frecuencia instantánea de la portadora se hace variar con arreglo a la amplitud de la moduladora. Así, cuando la amplitud aumente, también lo hace la frecuencia; si disminuye, la frecuencia instantánea se hace menor. Esto es lo que muestra el ejemplo gráfico mostrado, donde se ha elegido una onda moduladora de forma rectangular para mayor claridad de exposición.

depende directamente del *ancho de banda* ocupada por la señal de audio a transmitir, y *no* de su *amplitud*. Además, el ancho de banda total ocupado por la onda modulada que se transmite es el *doble* del que tiene la señal de audio. Estos son los puntos destacables de este tipo de modulación.

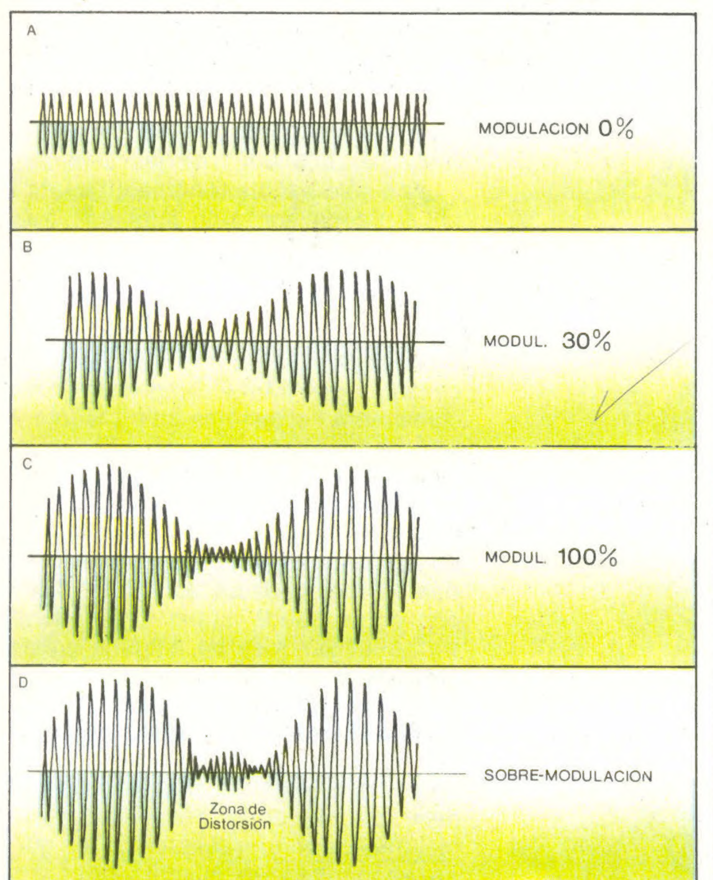
La modulación de frecuencia

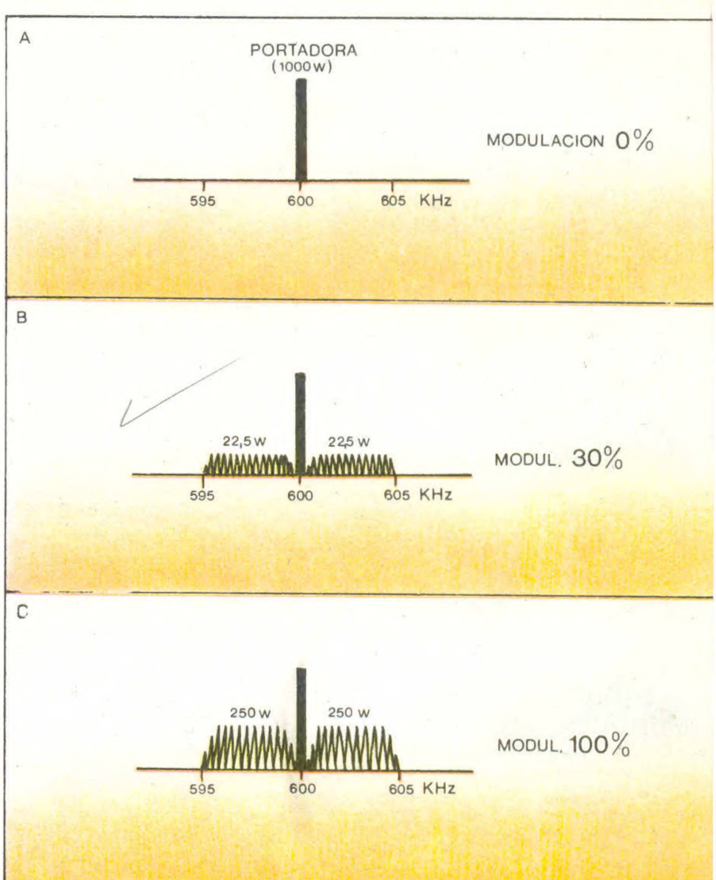
Igual que en AM se hace variar la amplitud de la portadora al ritmo de la señal moduladora, también podemos hacer que la *frecuencia* de la portadora varíe al ritmo de la señal que queremos enviar, la moduladora. De esta forma tan sencilla obtendremos una onda que lleva imprimida la información como variación de frecuencia, esto es, habremos hecho una *modulación de frecuencia* de la portadora. Ahora haremos que nuestro receptor sea tan sólo sensible a dichas variaciones de frecuencia, con lo que podremos recoger de nuevo la información contenida en la onda modulada. El proceso de modulación se realiza de tal forma que la *desviación de frecuencia* (el número de hertzios en que cambia la frecuencia instantánea de la portadora) es proporcional a la *amplitud* de la señal moduladora. Pongamos un ejemplo numérico que nos aclare la idea. Supongamos una señal moduladora de 1 V de amplitud, no importa su frecuencia. Supongamos asimismo que dicha señal provoca una desviación de frecuencia de ± 15 KHz en la frecuencia de la portadora, que vamos también a suponer que es de 1.000 KHz. Conforme varíe la señal moduladora, la frecuencia de la portadora variará desde 985 KHz hasta 1.015 KHz (1.000 ± 15 KHz), ocupando un ancho de banda de 30 KHz (1.015 − 985 = 30 KHz), esto es, el *doble* de la desviación.

Si ahora queremos modular la portadora de 1.000 KHz con una moduladora de 10 V de amplitud, la desviación que obtendremos será de ± 150 KHz (diez veces mayor desviación que con la modulación de 1 V), por lo que la frecuencia de la portadora variará entre 850 KHz y 1.150 KHz (1.000 ± 150 KHz), ocupando la transmisión una banda de 300 KHz (1.150 − 850 = 300 KHz), también el doble de la desviación. ¿Qué cómo se distinguen dos moduladoras de igual amplitud, 10 V, y distinta frecuencia, 1 KHz y 5 KHz? Pues muy sencillo: puesto que ambas señales tienen la misma amplitud (10 V), la desviación de frecuencia de la portadora será la misma (± 150 KHz); pero con la señal de 1 KHz la variación se hará a razón de 1.000 veces por segundo, mientras que con la de 5 KHz la desviación se realizará 5.000 veces cada segundo.

Así pues, destaquemos este punto que es importante: el *ancho de banda* ocupado por una transmisión de FM depende directamente de la *amplitud* de la señal de audio a transmitir. Además, el ancho de banda total ocupado por la onda modulada que se transmite podemos considerar, en principio, que es el *doble* de la desviación de frecuencia producida por la máxima amplitud de la señal de audio.

Podría pensarse que el empleo de la modulación de frecuencia reduciría a un mínimo el ancho de banda empleado para su transmisión, utilizando para ello una desviación de frecuencia muy pequeña. Esto no es así en la realidad. Por consideraciones matemáticas que ahora no vamos a exponer aquí, el ancho de banda de transmisión depende de la desviación de frecuencia empleada, y ésta a su vez del ancho de banda de la señal de audio, por lo que fácilmente se deduce que los anchos de banda de transmisión y de la señal de audio están interrela-





A la izquierda: Porcentaje de modulación en AM. Una onda portadora sin modular tiene una amplitud constante (A). Cuando se modula una señal, la amplitud media sigue siendo la misma, aunque varía con la misma forma que la moduladora (B). Cuando las amplitudes d portadora y la moduladora se hacen iguales, se consigue la modulación al 100 % (C). No debe permitirse que la amplitud de la modula sea superior a la de la portadora, para evitar posibles distorsiones (D).

A la derecha: Potencias empleadas en las distintas bandas laterales. Si la potencia de la portadora se mantiene constante, cuando n module, toda la potencia emitida será gastada en transmitir onda portadora (A). Cuando el porcentaje de modulación alcanza el 30 % potencia empleada en cada banda lateral es poco más del 2 % de la portadora (B). Si el porcentaje de modulación se hace máximo, en c banda lateral se emplea tan sólo la cuarta parte de potencia que en la portadora (C).

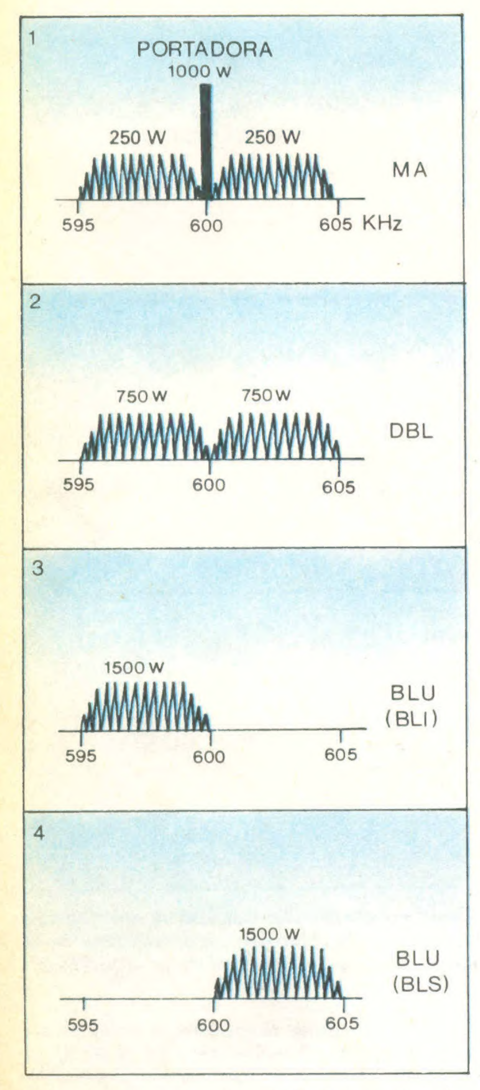
cionados entre sí. La forma en que el primero varía en función del segundo es complicada, pero en la práctica raramente el ancho de banda de transmisión es inferior a *diez* veces el de la señal de audio.

Características de la modulación de amplitud

Ya sabemos que este tipo de modulación consiste en hacer variar la amplitud de la portadora al ritmo que le fije la moduladora. Pero ¿cuándo se puede hacer variar dicha amplitud? Existen dos topes claros: uno, cuando la amplitud de modulación alcanza la amplitud de la portadora, y otro, cuando no se produce modulación (amplitud de la portadora constante). En el primer caso, se dice que la *profundidad* o *porcentaje de modulación* es del 100 %, mientras que en el segundo, es cero. Entre ambos extremos se obtienen todos los valores de la profundidad de modulación posibles. Es fácil comprender que si se pretende modular la portadora con una profundidad mayor del 100 %, la forma de la señal obtenida será diferente de la original, produciéndose distorsión en la parte receptora.

Una emisora de radio que transmita en AM gastará una cierta potencia en enviar las ondas de radio. Puesto que la amplitud *media* de la portadora es siempre la misma, la potencia gastada en enviar la portadora será constante. Sin embargo, la potencia gastada en las bandas laterales dependerá de la profundidad de modulación. Cuando dicha profundidad sea cero, no habrá modulación, no habrá bandas laterales y no se empleará potencia en ellas. Cuando la profundidad de modulación alcance el 100 %, se producirán dos bandas laterales iguales, en cada una de las cuales se empleará una potencia que es la cuarta parte de la empleada para la portadora. Para valores intermedios entre el 0 y el 100 %, potencia empleada en cada banda teral disminuye, de forma que para 30 %, por ejemplo, la potencia cada banda representa poco más 2 % de la empleada para la portado Si tenemos en cuenta que la «inf mación» que queremos transmitir contenida en las bandas laterales, cilmente comprenderemos que es mos derrochando energía, puesto q apenas un 5 % de la potencia gasta por un transmisor de AM que mod con un 30 % de profundidad va a s nos útil, ya que el otro 95 % se e plea para la portadora que, en sí, contiene información útil alguna. Er mejor de los casos (modulación 100 %), la potencia empleada para dos bandas representa tan sólo 50 % de la de portadora.

Para conseguir un mejor rendimie del proceso de transmisión, pue suprimirse (con un filtro, por ejemp la portadora, emitiéndose tan sólo



Reparto de potencia en distintas situaciones. Se supone que siempre se transmite con 1.500 W de potencia en antena. 1) Modulación de amplitud al 100 %. 2) Modulación en doble banda lateral (DBL). 3) y 4) Modulación en BLU. La única diferencia está en la transmisión de la banda lateral inferior (BLI) o la superior (BLS). En inglés, estas dos bandas se abrevian como LSB (de «Lower Side Band») y USB (de «Upper Side Band»), respectivamente.

1 MA 10 KHz
2 DBL 10 KHz
3 BLU (BLI) 5 KHz
4 BLV 6,5 KHz

Ancho de banda ocupado por distintas transmisiones. 1) Modulación en amplitud con señales de hasta 5 KHz. 2) Modulación en DBL también con señales de audio de hasta 5 KHz. 3) Modulación en BLU (banda inferior) con señales de hasta 5 KHz. 4) Modulación en banda lateral vestigial (BLV). En este caso, se suprime parte de una de las bandas; la información suprimida puede recuperarse con ayuda de la otra banda lateral.

dos bandas laterales, dando lugar a la llamada *modulación en doble banda lateral* (en inglés abreviado como DSB, de «*D*ouble *S*ide *B*and»). Incluso puede suprimirse también una de las bandas laterales, ya que *toda* la información que queremos transmitir va contenida por igual en ambas. Así se da paso a los sistemas de *modulación en banda lateral única,* abreviada como BLU (y en inglés como SSB, de «*S*ingle *S*ide *B*and»). Este último sistema es el que mayor rendimiento tiene, ya que *toda* la potencia gastada en el transmisor se aprovecha para transmitir *toda* la información.

Otros tipos de modulación de amplitud existen aún, unos sin y otros con supresión de portadora. Entre ellos cabe citar el empleado por la señal de imagen (vídeo) de TV, denominado de *banda lateral vestigial,* en la que se suprime una parte de una de las bandas laterales.

Aparte de la ventaja que supone un mayor rendimiento de transmisión, los sistemas que suprimen parte o la totalidad de una de las bandas laterales ahorran también ancho de banda ocupado, ya que sólo se emplea el suficiente para transmitir la información útil. En concreto, los sistemas de BLU utilizan la mitad o menos del espectro ocupado por una emisora de AM normal. Esto supone *doblar* el número de emisoras que pueden entrar en una cierta banda sin interferirse unas a otras.

Naturalmente, cada sistema de modulación entraña unas ciertas técnicas, que no sólo han de tenerse en cuenta en el transmisor, sino también en la parte receptora. Desde el punto de vista del receptor, los sistemas de portadora suprimida complican no sólo el diseño del mismo, sino también su ajuste y puesta a punto. Además, las emisoras de AM han empleado tradicionalmente el sistema de portadora y dos bandas laterales, al que están adaptados los receptores que se encuentran en el mercado.

Por estas razones, la totalidad de las emisoras que transmiten en las bandas de radiodifusión en AM lo hacen con doble banda lateral y portadora, no beneficiándose de ninguna de las ventajas de los distintos sistemas comentados. Además, cualquier otro sistema que eventualmente se empleara en dichas bandas, debería ser compatible con el actualmente empleado (es decir, debería poder ser recibido normalmente con un receptor de los que se encuentran en el mercado).

La única excepción al sistema de bandas laterales la constituyen las emisoras de TV, que transmiten siempre en el sistema ya comentado de BLV, sistema al que están adaptados los televisores. En este sentido podemos decir que no existe un único sistema empleado mundialmente, sino que en la actualidad existen al menos seis distintos, incompatibles unos con otros, por lo que un receptor de TV determinado puede que no funcione en cualquier parte del mundo, lo que no ocurre con los receptores de radio, cuya única diferencia puede estar en las bandas empleadas, pero no en los sistemas de modulación.

Bandas de radiodifusión

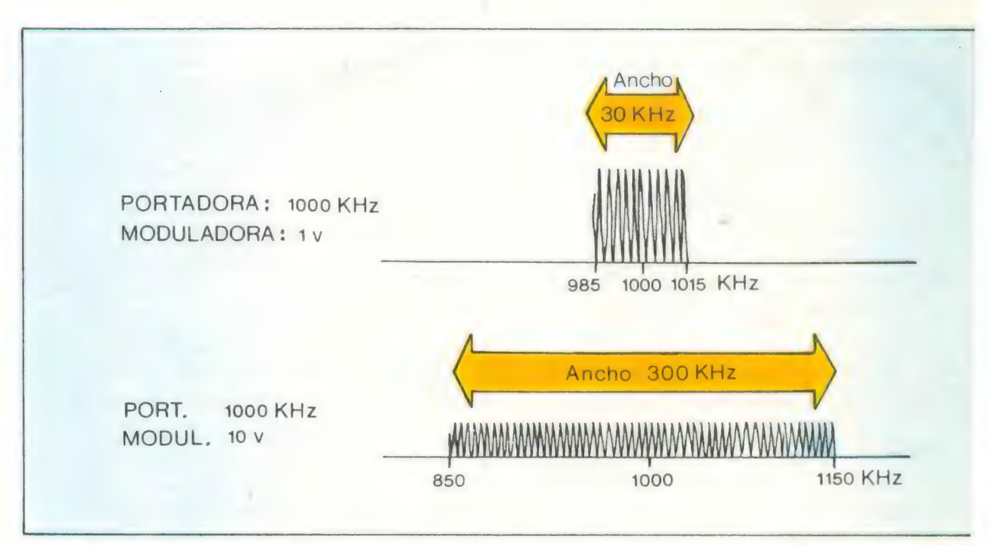
Las ondas hertzianas suelen dividirse en varios grupos, atendiendo a su frecuencia. Estos grupos se denominan *bandas de frecuencias,* y la división es puramente convencional. También podemos hacer la clasificación en base a las longitudes de onda que presentan. Puesto que frecuencia y longitud de onda están interrelacionadas, dichas bandas pueden identificarse indistintamente de una forma u otra, pues la equivalencia es total.

Comprendidos dentro de estas bandas están todos los servicios que se hacen por radio: policía, aficionados,

DENOMINACION	Siglas	Margen de frecuencias
Frecuencias muy bajas (**V**ery **L**ow **F**requencies)	VLF	3-30 KHz
Frecuencias bajas (**L**ow **F**requencies)	LF	30-300 KHz
Frecuencias medias (**M**edium **F**requencies)	MF	300-3.000 KHz
Frecuencias altas (**H**igh **F**requencies)	HF	3-30 MHz
Frecuencias muy altas (**V**ery **H**igh **F**requencies)	VHF	30-300 MHz
Frecuencias ultra altas (**U**ltra **H**igh **F**requencies)	UHF	300-3.000 MHz
Frecuencias super altas (**S**uper **H**igh **F**requencies)	SHF	3-30 GHz
Frecuencias extra altas (**E**xtra **H**igh **F**requencies)	EHF	30-300 GHz

Bandas de frecuencia. Margen de frecuencias que abarcan y siglas más utilizadas para su nomenclatura.

comunicaciones móviles, radioayudas a la navegación, radar, comunicaciones tierra-satélite, etc., y cómo no, también se encuentran las bandas de *radiodifusión,* que son aquellas en que transmiten emisoras con fines fundamentalmente comerciales, de divulgación, y en general emisiones dirigidas al sector denominado «gran público», para denotar su carácter de interés general.
Las bandas de radiodifusión emplean un espectro de frecuencias muy reducido en comparación con el margen total de ondas hertzianas utilizable: apenas el 0,2 % de todas las frecuencias útiles se destina a este fin. En él se incluyen no sólo las emisoras de radio, sino también las de TV. Sólo el 5 % del espectro de radiodifusión lo ocupan las emisoras de radio, quedando el 95 % restante para la TV. La razón es de tipo técnico, ya que una sola emisora de TV necesita un ancho de banda 20 veces superior al que necesita una emisora de FM, y es 600 veces mayor que el que emplea una de AM. Es por esta diferencia tan grande en el ancho de banda ocupado que existen más de 50 canales de radio por cada uno de TV, a pesar de ocupar la radio tan sólo el 5 % del ancho disponible. Las emisoras de radio se encuentran en distintas bandas,



Una onda modulada en frecuencia ocupa un cierto espectro alrededor de la frecuencia de l portadora. El ancho de dicha banda es proporcional a la amplitud de la moduladora; mayor amplitud, mayor ancho de banda ocupado.

presentando cada una de ellas características propias distintas de las de otras bandas. Estas bandas de radiodifusión se reservan para este fin por acuerdos internacionales. No en todas partes del mundo existen los mismos acuerdos, por lo que estas cifras sólo valen para la zona europea occidental, Oriente Medio y parte de Africa. En otras zonas, las bandas pueden no coincidir, pero en todo caso están cer canas a la de la zona mencionad muchas veces solapadas las de una regiones con otras. Dentro de cad banda, cada país puede que intro duzca sus propias limitaciones, rese vas o utilización, por lo que las cifr deben tomarse sólo como caracterís tica general común a la zona ant dicha.

DENOMINACION	Siglas	Margen longitud onda	Equivale a
Ondas muy largas (**V**ery **L**ong **W**aves)	VLW	10-100 Km	VLF
Ondas largas (**L**ong **W**aves)	LW	1-10 Km	LF
Ondas medias (**M**edium **W**aves)	MW	100-1.000 m	MF
Ondas cortas (**S**hort **W**aves)	SW	10-100 m	HF
Ondas muy cortas (**V**ery **S**hort **W**aves)	VSW	1-10 m	VHF
Ondas ultra cortas (**U**ltra **S**hort **W**aves)	USW	100-1.000 mm	UHF
Ondas super cortas (**S**uper **S**hort **W**aves)	SSW	10-100 mm	SHF
Ondas extra cortas (**E**xtra **S**hort **W**aves)	ESW	1-10 mm	EHF

Las bandas de frecuencias pueden también clasificarse en relación a las longitudes de onda que comprenden. Se da su equivalencia con las denominaciones en relación con la frecuencia.

Utilización de las bandas

Las bandas de frecuencia más bajas se reservan para las emisoras que transmiten en AM, mientras que las de FM transmiten en frecuencias altas (alrededor de 100 MHz). Esto, como ahora veremos, es consecuencia del distinto ancho de banda que requieren unas y otras transmisiones.
Al tener cada una de las bandas un ancho especificado, del que no podemos salirnos, cuanto más ancho de banda emplee cada emisora, menos emisoras «caben» en una determinada banda, ya que una emisora no puede «montar» sobre la banda ocupada por otra, pues se producirían interferencias. Por ejemplo, supongamos que queremos utilizar la banda de OM para emisoras de AM, y que cada una de ellas va a transmitir música en alta fidelidad. Ya sabemos que, para este uso, necesitaremos reproducir señales cuya frecuencia máxima será del orden de 20 KHz. Puesto que la modulación es en amplitud, a ambos lados de la portadora aparecerán dos bandas de 20 KHz de ancho cada una (igual ancho que la señal de audio), necesitándose, por tanto, 40 KHz de ancho para cada una de las emisoras. Puesto que la banda de OM ocupa un ancho de 1.125 KHz (1.650 – 525 = = 1.125 KHz), a razón de 40 KHz cada emisora, sólo entrarían 28 con la condición ya dicha de que una emisora no se «solape» en parte con la banda ocupada por otra. Este número es muy reducido. En zonas muy densamente pobladas, como pueden ser las grandes urbes, es corriente encontrarse con 15, 20 e incluso más emisoras radiando simultáneamente. Ocuparían la banda entera de OM, y sólo se serviría a una gran ciudad. ¿Qué pasaría con las zonas adyacentes? No podrían tener sus propias emisoras, pues todo el espectro estaría ya ocupado.
Bajemos un poco la calidad de transmisión y reduzcamos la banda de audio de 20 KHz a tan sólo 15 KHz. Ahora necesitaremos 30 KHz (2 × × 15 KHz) para cada emisora; por lo que en la banda de OM llegarían a entrar 37 emisoras. La práctica real sigue diciendo que es un número insuficiente. Por esta razón la comunidad internacional se puso de acuerdo en crear una Oficina o Comité que se encargara de redactar *normas* (con carácter de *recomendaciones,* pero que son seguidas al pie de la letra por todos los países) que estuvieran destinadas al mejor aprovechamiento del espectro de ondas hertzianas, no sólo con fines de radiodifusión, sino de todos los servicios y usos que puede darse a las mismas. Esta es una de las misiones del C. C. I. R. (*C*omité *C*onsultivo *I*nternacional de las *R*adiocomunicaciones). El C. C. I. R. estudió el problema de la transmisión de AM en las bandas de frecuencias bajas medias y altas (OL, OM y OC), llegando a la conclusión de que para poderlas aprovechar adecuadamente era necesario reducir el ancho de banda empleado por cada emisora a 9 KHz, con lo que fácilmente se comprende que cada banda lateral no podrá ocupar más de 4,5 KHz, que será también la frecuencia de la señal de audio más elevada que puede transmitirse. De esta forma, pueden entrar hasta 125 emisoras transmitiendo simultáneamente sin interferirse unas a otras.
Naturalmente, cada una de esas 125 emisoras se ven imposibilitadas a poder transmitir programas en alta fidelidad, ya que el C. C. I. R. les ha limitado la banda de audio a 4,5 KHz. Así, pues, se ha cambiado conveniencia de uso por calidad de transmisión musical. En su día, ya dijimos que las emisoras de AM no podían considerarse integradas en la alta fidelidad. Aquí está la razón, que como también

EMISORAS DE RADIO			
Banda	**Siglas**	**Margen de frecuencia**	**Modulación**
Onda Larga Long Wawe Grandes Ondes Langwelle	OL LW GO LW	150-300 KHz	MA
Onda Media Medium Wave Petites Ondes Mittelwelle	OM MW PO MW	525-1.650 KHz	MA
Onda Corta Short Wave Ondes Courtes Kurzwelle	OC SW OC KW	Bandas principales: 16, 19, 25, 31, 41, 49, 60, 75 y 90 m de longitud de onda	MA
VHF Banda II Modulación de Frecuencia Frequency Modulation Modulation de Fréquence Ultrakurzwelle	MF FM MF UKW	87,5-104 MHz (en algunos países 87-108 MHz)	MF

Principales bandas de radiodifusión para la zona europea, Oriente Medio y parte de Africa.

se dijo, es de orden técnico, y no porque la AM no pueda «dar más de sí», independientemente de que luego se presenten otro tipo de problemas, como el de las interferencias de tipo atmosférico, de las que ya hablaremos en su momento.

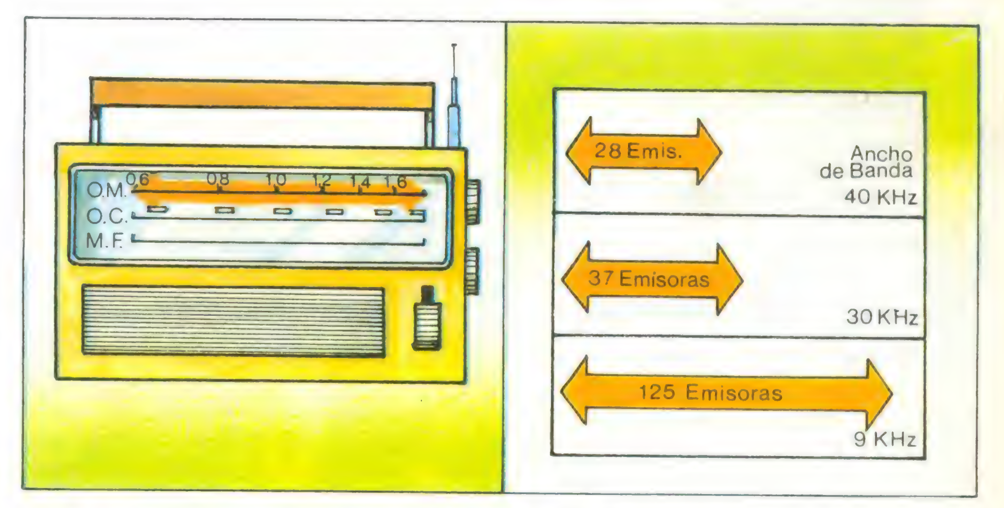
La transmisión en FM

Cuando hemos hablado del ancho que ocupa una transmisión en FM, dijimos que era de, al menos, diez veces el de la señal de audio. Así, y suponiendo que transmitiéramos música en alta fidelidad, con señales de frecuencias de hasta 20 KHz, cada emisora necesita, por lo menos, una banda de 200 KHz. ¿Qué ocurriría si pretendiéramos utilizar este tipo de transmisión en la banda de OM? Sólo entrarían, y mal, seis emisoras. Si antes teníamos problemas con la AM, no diremos nada de los que se presentarían ahora (aparte de otros de tipo técnico que surgirían, y que no comentaremos). Aun admitiendo a reducir el ancho de banda de audio a tan sólo 4,5 KHz, no podrían transmitir más de 25 emisoras simultáneamente.

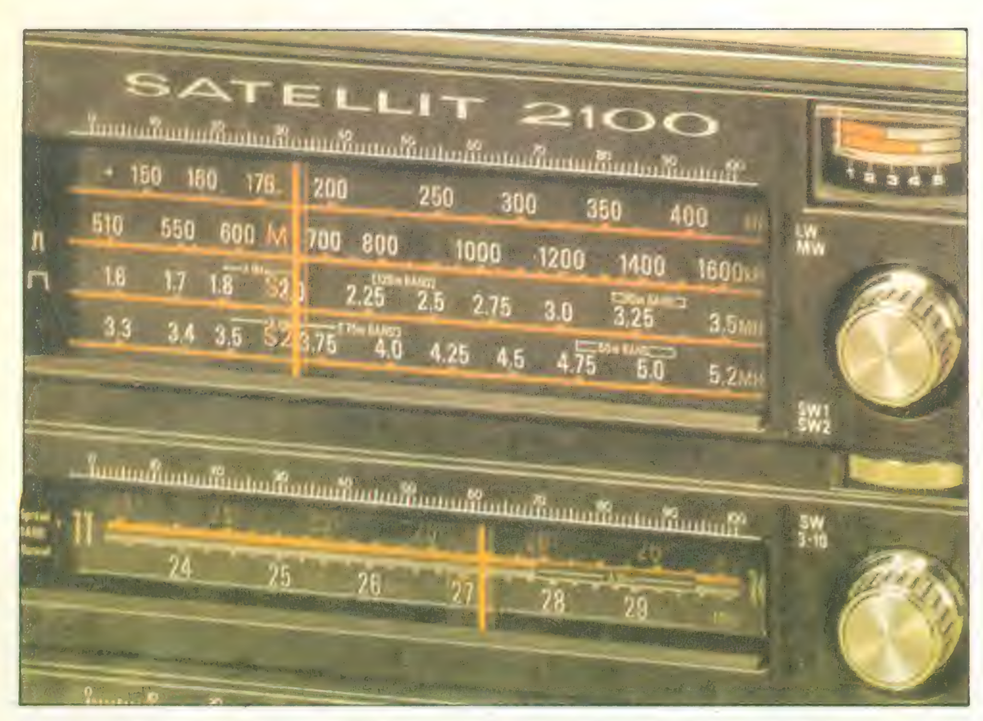
Es por esta razón que se eligen bandas de frecuencias muy elevadas para su uso por la radiodifusión en FM. En concreto, y suponiendo que se utilice un ancho de banda por emisora de 200 KHz, en la banda de 87 a 108 MHz entrarán un mínimo de 105 emisoras. En Europa se ha normalizado la separación entre dos emisoras contiguas en 300 KHz, asignándose además una numeración a las posibles emisoras o «canales» (igual que en TV). Así, el primer canal es el dos, y está situado en 87,6 MHz.

En los EE. UU. se admiten emisoras separadas 200 KHz (situadas en canales *contiguos* o *adyacentes*), aunque si debido a su proximidad pudieran interferirse, suelen separarse al menos 400 KHz (situándolas en los llamados canales *alternos*). Esta menor separación, junto con la extensión hasta 108 MHz por el lado alto de la gama, se ha originado por la gran congestión que se produce en determinadas zonas, de forma que pueden encontrarse cerca del doble de canales que en Europa. Tanto en un continente como en otro se emplea una desviación típica de ± 75 KHz sobre la frecuencia de la portadora.

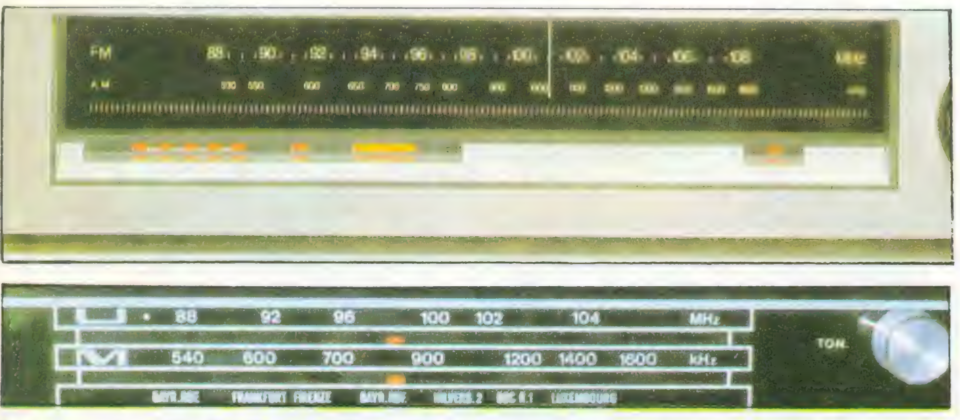
Ya hemos esbozado algunas ventajas de la FM frente a la AM desde el punto de vista de la posibilidad de transmisión en alta fidelidad. Así, ya hemos dicho que con la normativa actual es imposible transmitir en alta fidelidad



Al ser la banda de OM de una anchura determinada, el número posible de emisoras que pueden transmitir simultáneamente sin interferirse depende de la anchura de cada una de ellas; a mayor anchura, menor número de emisoras cabrán.



Las bandas de radiodifusión en MA son hoy día tres: la OL, la OM y parte de la OC. La mayor parte de los receptores pueden recibir emisoras en dichas bandas.



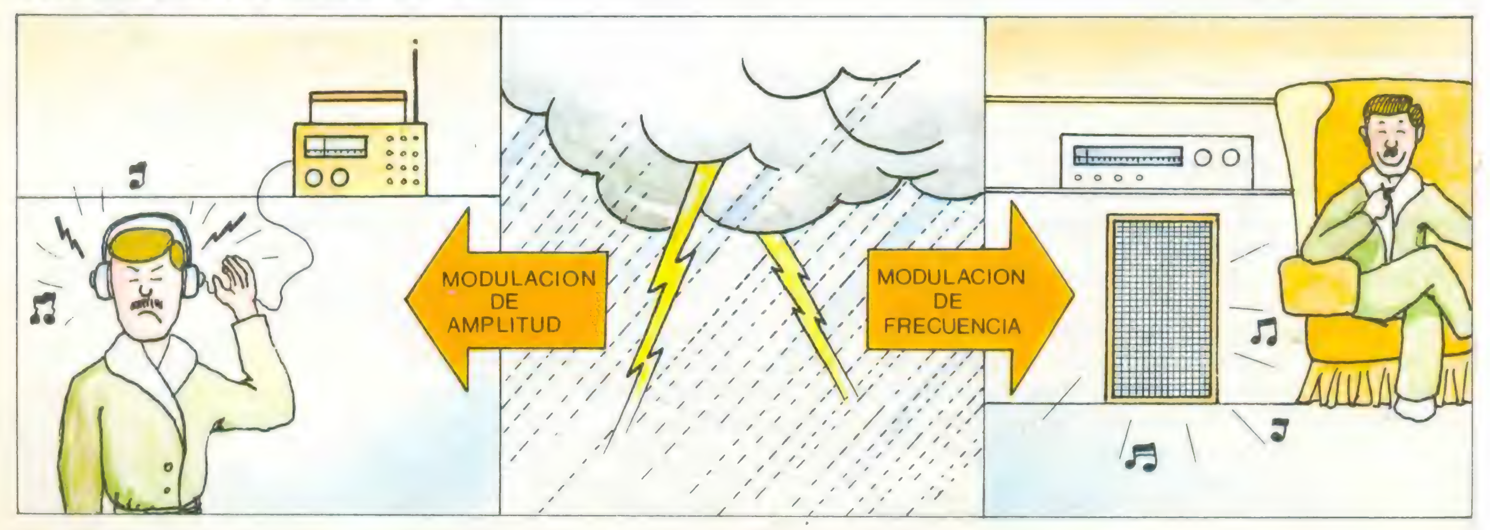
La banda de radiodifusión en MF se sitúa alrededor de los 100 MHz. En Europa se han establecido unos canales que son ocupados por las distintas emisoras. La división en canales es puramente convencional y obedece a razones de organización práctica.

en las bandas de AM. Sin embargo, la FM deja una puerta abierta, ya que con la desviación de frecuencia adoptada de ± 75 KHz (que dan un ancho de banda mínimo de 150 KHz) sí es posible transmitir señales de audio de hasta 15 ó 16 KHz, con lo que nos posibilita para hacer una transmisión por ondas hertzianas con una banda suficiente para una verdadera alta fidelidad.

Otra gran ventaja presenta la FM frente a la AM en este sentido. Todos conocemos los ruidos tan desagradables que se oyen en nuestro receptor de AM cuando hay una tormenta o, simplemente, cuando ponemos en marcha un secador de pelo o una batidora eléctrica. Incluso en TV (que también emplea un tipo de modulación en amplitud), y con este tipo de interferencias, se observan puntos luminosos que recorren la pantalla, enturbiando la imagen. En la recepción de radio la interferencia puede llegar a ser tan grande, que a veces anula por completo la señal recibida de la emisora.

Este tipo de interferencia se produce porque la fuente u origen (la tormenta o el secador) genera señales de amplitud variable en todo el espectro de frecuencias (desde menos de 100 KHz hasta la banda de VHF); estas señales se *suman* con la de AM o la de TV, modificando su *amplitud,* que es donde va contenida precisamente la «información» sonora o de imagen. Cuando el receptor «examina» la amplitud de la señal que le llega, no sabe reconocer si hay o no «ruido», y envía al altavoz o a la pantalla todo lo que recibe, incluida la interferencia. En cambio, un receptor de FM está preparado para «reconocer» *solamente*

Las tormentas y otros fenómenos eléctricos perturban gravemente la escucha de las transmisiones en MA, mientras que apenas si tienen efecto alguno sobre las realizadas en MF.



variaciones en la *frecuencia* de la señal que le llega, y *no* en su *amplitud*, por lo que aunque la señal de FM se vea grandemente modificada por la interferencia, el receptor rechazará esta última, dejando pasar la señal de audio «limpia».

Características de la modulación de frecuencia

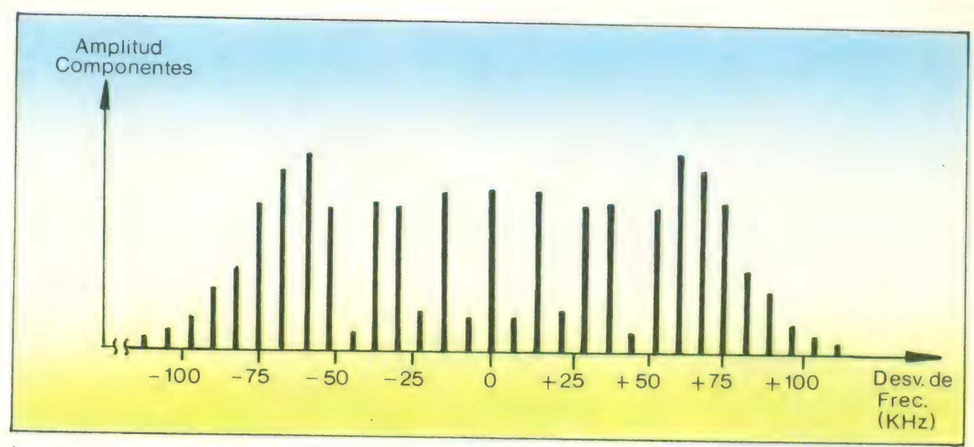
Al igual que ocurre con la señal modulada en amplitud, la que ha sido modulada en frecuencia también puede descomponerse matemáticamente en varias componentes. Sin embargo, ahora el resultado no es tan sencillo. Aunque no vamos a exponer un estudio completo, sí vamos a esbozar cuáles son los problemas que surgen con una transmisión en FM.

Del estudio de la señal modulada (que es la que se transmite y recibe) resulta que se producen un número infinito de componentes laterales, ocupando un ancho de banda también infinito, al contrario de lo que ocurría con la AM, en la que eran sólo dos bandas con un ancho de banda determinado. En principio, podría parecer un problema insoluble, ya que no puede construirse ningún equipo práctico con ese ancho de banda.

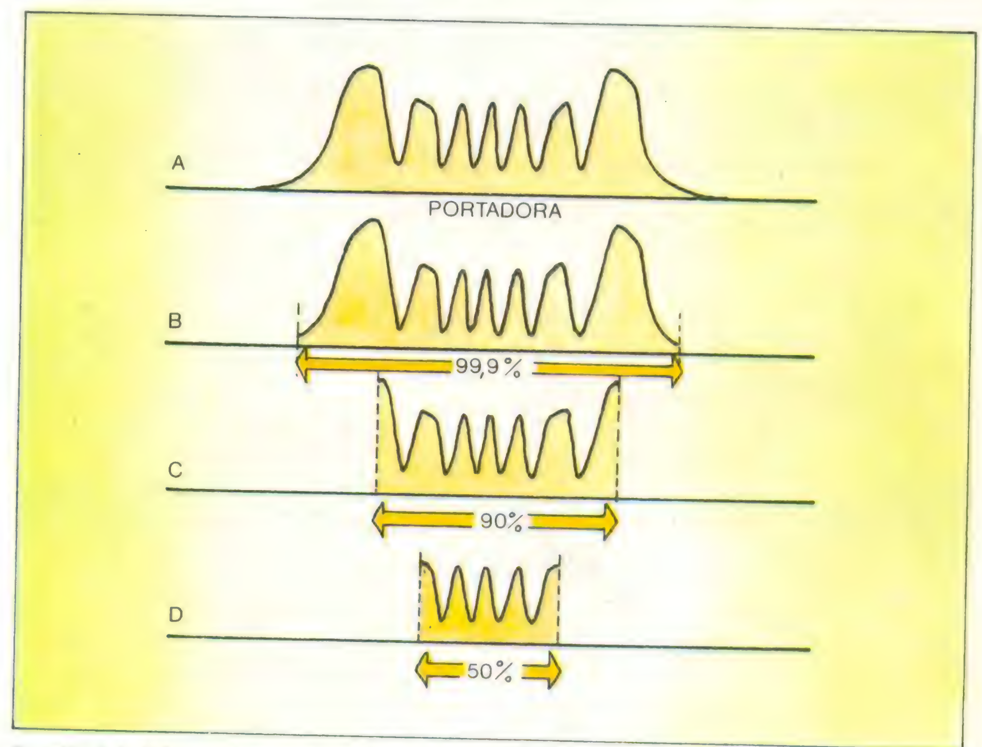
Un estudio más detenido de las componentes nos dice que su amplitud decrece rápidamente conforme nos alejamos de la frecuencia de la portadora, por lo que tomando un número relativamente pequeño de las mismas, puede recuperarse suficiente información como para recomponer la señal con un grado determinado de calidad.

De aquí proviene el gran dilema que supone la elección del ancho de banda ocupado para la transmisión-recepción de una señal modulada en frecuencia. Cuanto mayor número de componentes laterales cojamos, mayor fidelidad de reproducción obtendremos, y mayor ancho de banda ocuparemos, con lo que menor número de «canales» entrarán en la banda asignada. Por contra, si queremos suficiente número de «canales», deberemos acotar el ancho ocupado por cada uno, con lo que menor número de componentes laterales recuperaremos y, por tanto, menor calidad tendrá la reproducción.

Como en otras muchas ocasiones, es la práctica la que nos da la última palabra. Así, numerosas pruebas han llegado a demostrar que, con una desviación típica de ± 75 KHz y si se desea recuperar la información suficiente para que no haya diferencia



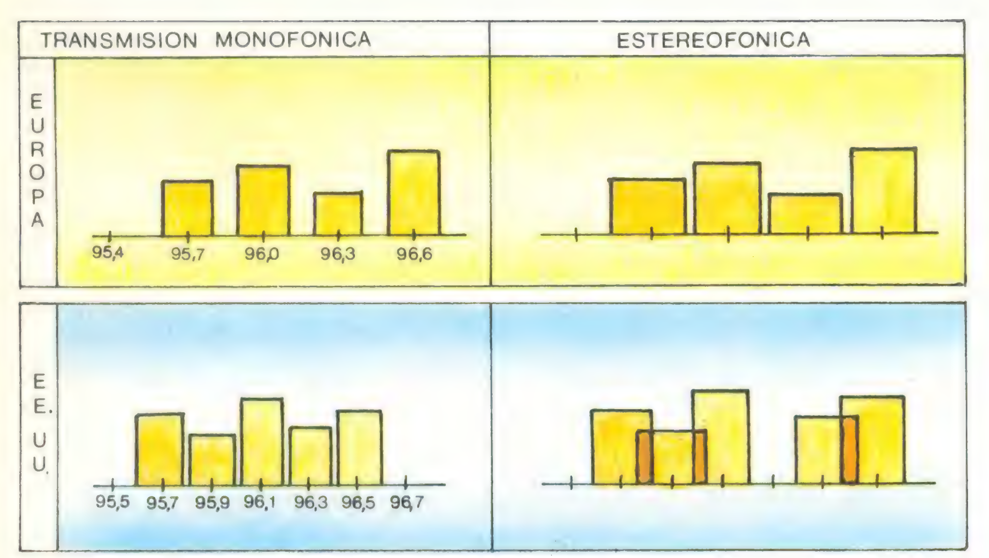
Las componentes de frecuencia producidas por una modulación en frecuencia son, teóricamente, infinitas. Aquí se muestran las producidas por un tono de 7,5 KHz de audio, que ocupa un ancho de banda superior a los 250 KHz.



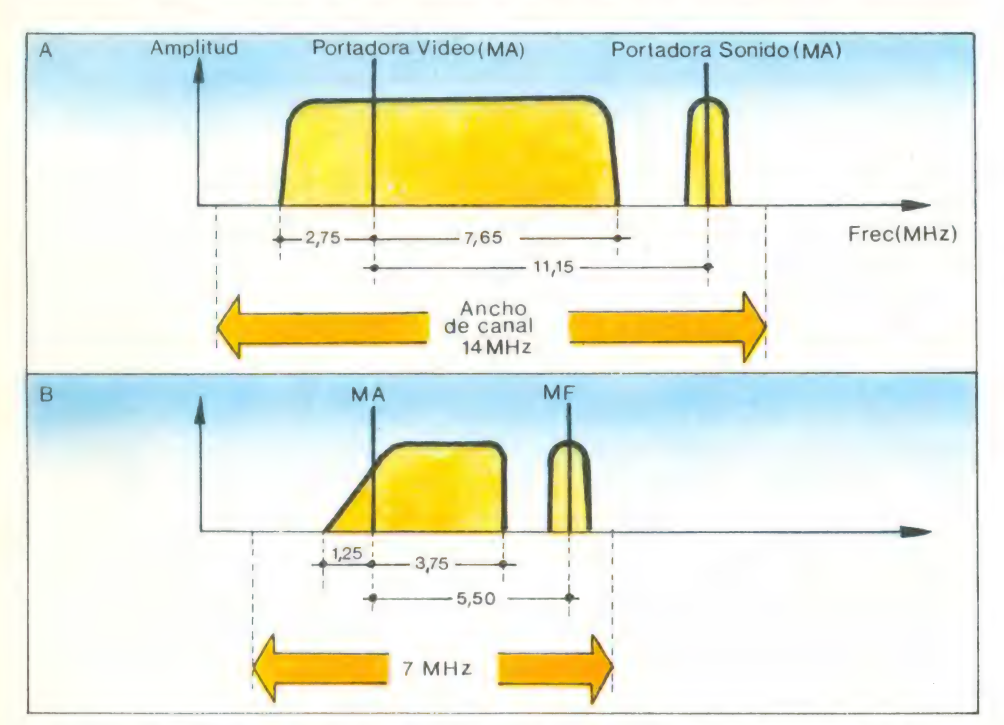
Cantidad de información recuperada de una onda modulada en frecuencia según el ancho de banda de recepción. A) Espectro completo. B) Ancho de banda de 250 KHz. Se recupera prácticamente toda la información. C) Ancho de banda de 150 KHz. Se recupera la suficiente cantidad de información como para que la distorsión sea pequeña. D) Ancho de banda de 100 KHz. Se pierde gran parte de la información, siendo la reproducción defectuosa.

apreciable con la señal original (para la que se considera una banda de 15 KHz de ancho), es necesario un ancho de banda de 255 KHz. No obstante, si el ancho de banda lo reducimos a 210 KHz, aún no recuperándose toda la información, no se obtendrá distorsión armónica apreciable. Todavía puede reducirse algo más el ancho de banda, ya que los valores anteriores pueden deducirse de aproximaciones teóricas al problema. Considerando las señales que pueden observarse en la práctica, que son al fin y al cabo las que más nos interesan, puede reducirse a 18,5 KHz el ancho de la banda de paso, sin que pueda apreciarse diferencia alguna con la señal original.

Por todas estas razones hasta aquí consideradas, fue que se eligieron las separaciones normalizadas entre canales de 200 KHz en EE. UU. y 300 KHz en Europa. Posteriormente comenzaron las transmisiones en FM estereofónica que, como ya veremos en su momento, requieren de un mayor ancho de banda, con lo que 200 KHz entre emisoras es una banda muy exigua, mientras que con 300 KHz hay suficiente. Así, dos canales adyacentes en Europa pueden ser



Distintos anchos de banda ocupados por señales en MF monofónica y estereofónica. Como puede observarse, en EE. UU. no pueden transmitir dos estaciones en estéreo que se encuentren próximas entre sí y en canales adyacentes, pues se interferirían.



Distribución del espectro ocupado por un canal de TV. A) Sistema francés de 819 líneas. B) Sistema C.C.I.R. de 625 líneas.

ocupados por emisoras cercanas, pues no se interferirán; sin embargo, en EE. UU. se ha de dejar un canal libre entre dos emisoras próximas que transmitan en estereofonía (canales alternos), ya que la separación pasará a ser de 400 KHz.

En FM no ocurre como en AM, en que parte de la potencia transmitida es empleada exclusivamente para la portadora, no siendo útil a efectos de «información», como ya hemos comentado. Ahora la potencia gastada en la emisora se distribuye por toda la banda entre todas las componentes, de forma que tan sólo en el caso de que no se transmita modulación alguna (sólo la portadora), la potencia irá exclusivamente para la portadora. En todos los demás casos la portadora recibirá tan sólo parte de la potencia gastada.

Por último, comentar que tan sólo es en FM donde pueden transmitirse programas sonoros en alta fidelidad con la normativa actual. En este sentido tenemos que decir que también es en esta banda únicamente en la que hoy en día se transmite en estereofonía, al menos en Europa, ya que en EE. UU. se está comenzando también a transmitir en las bandas de AM.

Desde 1970 transmite una emisora de Tijuana, México, en AM en estéreo en 690 KHz. Así, pues, podemos considerar estas transmisiones como una fuente más de programas sonoros en alta fidelidad. Igualmente, no debemos olvidar que en la mayoría de los sistemas de TV de los distintos países se transmite el *sonido* en FM, por lo que también podremos introducir dicha señal de sonido a nuestra cadena de alta fidelidad, ya que tendrá calidad suficiente.

Propagación de ondas

La idea de la comunicación por radio es muy simple en su concepción. Un transmisor, un medio por el que se propague la onda, y un receptor. El transmisor y el receptor los construimos nosotros colocándolos en los lugares adecuados, que por una u otra razón convengan.

Pero el medio de transmisión está ahí (la atmósfera, para el tipo de comunicación que nos interesa), y es muy difícilmente modificable para hacerle cumplir con nuestros requisitos ideales, por lo que hay que adaptarse a él, estudiarlo y aprovecharlo lo mejor que se pueda.

Como no pretendemos hacer un estudio teórico, no vamos a sintetizar las propiedades que presenta, sino que vamos a hacer un análisis práctico de su comportamiento. Así, diremos que, fundamentalmente, podemos considerar que una transmisión radio puede desplazarse de tres formas, que suelen denominarse como onda de tierra, onda de espacio y onda visual.

En principio, las ondas radio se desplazan en línea recta, por lo que dos puntos podrían quedar unidos por las mismas siempre y cuando estuvieran uno a la vista del otro. Este tipo de comunicación es la que se realiza con la llamada *onda visual*. Conviene aclarar que el término «visual» es relativo a las ondas de radio. Objetos que para nuestra vista resultan opacos, son perfectamente transparentes a las ondas radio. Y, recíprocamente, hay determinadas estructuras que no pueden atravesar las ondas radio. Por ejemplo, resulta muy difícil hacer funcionar un receptor de radio en el interior de una jaula metálica, aunque nuestra vista no tiene ningún problema para ver a través de la misma (si los barrotes no son muy gordos).

Por otro lado, las ondas radio también pueden propagarse sobre la superficie de la tierra, siguiendo su orografía. Esta es la denominada *onda de tierra*, que se atenúa con la distancia debido

a las pérdidas producidas por el mismo terreno sobre el que viaja. Dichas pérdidas dependen de la frecuencia de la transmisión, así como de las características eléctricas de la tierra (conductividad, entre otras). El término «tierra» debe aplicarse en el sentido de superficie terrestre, la cual incluye las superficies de agua. En concreto, la propagación por onda de tierra sobre la superficie del mar (agua salada) se atenúa mucho menos que sobre terreno firme.

El alcance práctico de la onda de tierra depende mucho de la frecuencia empleada por la emisora, de forma que disminuye conforme se aumenta la frecuencia. Por esta razón, son las gamas de frecuencias más bajas las que se benefician de esta forma de propagación. Las emisoras que emiten en la banda de OL en Europa pueden recibirse con facilidad en todo el continente. En la banda de OM el alcance es más reducido, y podemos considerar que por encima de unos 1.600 KHz (extremo superior de la banda de OM) sólo se realizan comunicaciones locales por medio de la onda de tierra (a lo sumo 50 kilómetros). Finalmente, la señal de radio puede llegar al receptor viajando por el aire, por medio de lo que se conoce como *onda de espacio*. La atenuación en el aire es relativamente pequeña, por lo que el alcance de la onda de espacio puede ser muy grande. Además, las capas altas de la atmósfera (la llamada *ionosfera)* se comportan, en determinadas condiciones, de una forma muy peculiar: pueden «curvar» el camino recorrido por la onda de espacio, y hacerla volver a la tierra (como un rayo de luz que se refleja en un espejo), o incluso viajar a través de la ionosfera una cierta distancia antes de regresar hacia la tierra. Una vez que la onda regresa, puede ser reflejada por la superficie de la tierra y volver de nuevo a la ionosfera, repitiendo el proceso y pudiendo realizarse comunicaciones a distancias enormes.

Existe una clara diferencia entre la onda de tierra y la onda de espacio. Mientras que el medio en que se propagan las primeras (la superficie de la tierra) cambia poco con el tiempo, la onda de espacio depende de las características de la ionosfera, que varían ampliamente en el tiempo, ya que las condiciones de propagación no sólo dependen de la latitud del lugar, sino de la hora del día, de la estación del año e incluso de la mayor o menor actividad del Sol.

Así, para bajas frecuencias, las condiciones de propagación son muy im-

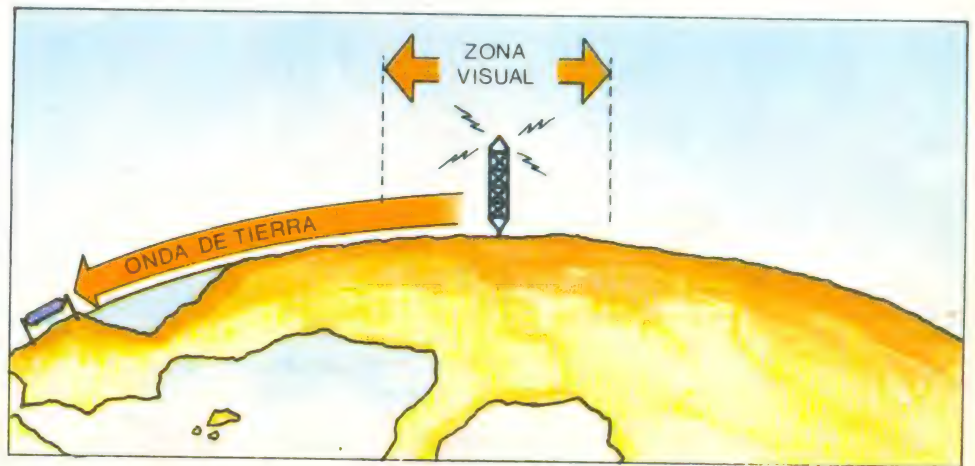


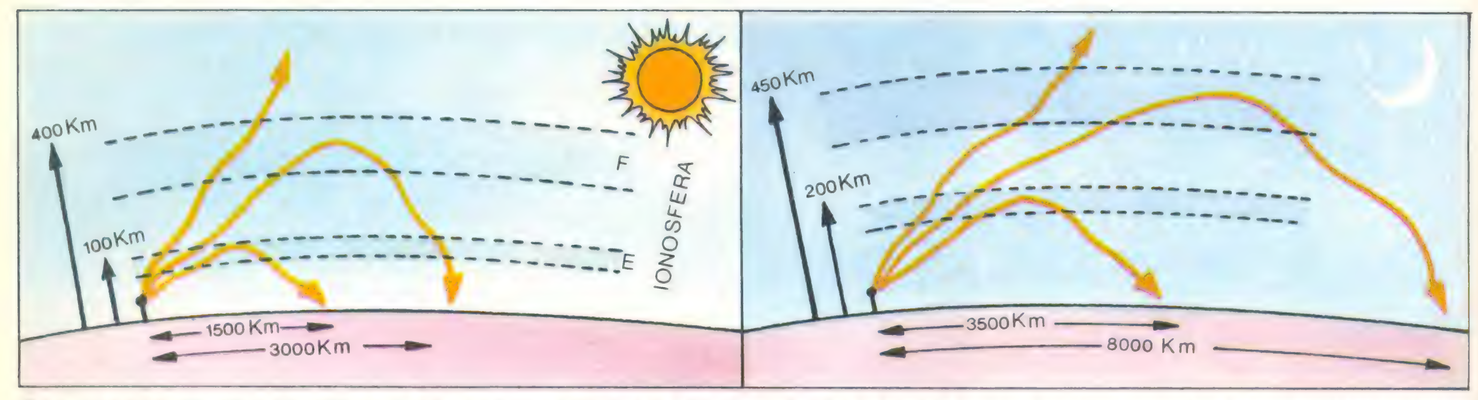
La señal de TV emplea un tipo de MA, por lo que la imagen puede verse afectada por cierto tipo de interferencias, que se traducirán por bandas luminosas, puntos blancos en zonas localizadas o incluso desincronización de los circuitos de imagen.



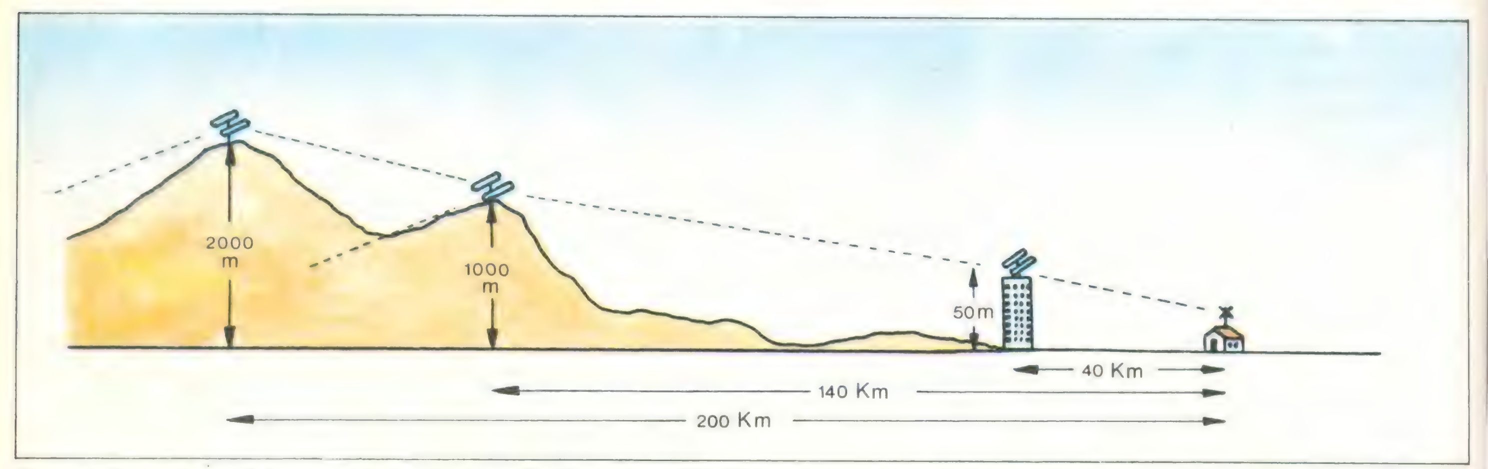
Zona útil de propagación por onda visual. El alcance de una transmisión en estas condiciones viene limitado principalmente por el horizonte geográfico de la antena de transmisión.

Comunicación por onda de tierra. El alcance de la onda de tierra es considerablemente mayor que el visual, y puede llegar a ser de varios miles de kilómetros, dependiendo de la potencia de la emisora. En igualdad de condiciones, el mayor alcance se obtiene cuando la onda se propaga sobre agua salada.





Comunicación por onda de espacio. Existe una zona en la atmósfera, denominada ionosfera, que presenta características muy interesantes para las ondas de radio. La altura de dicha zona varía con la hora del día, y puede presentar varias capas de similares características.

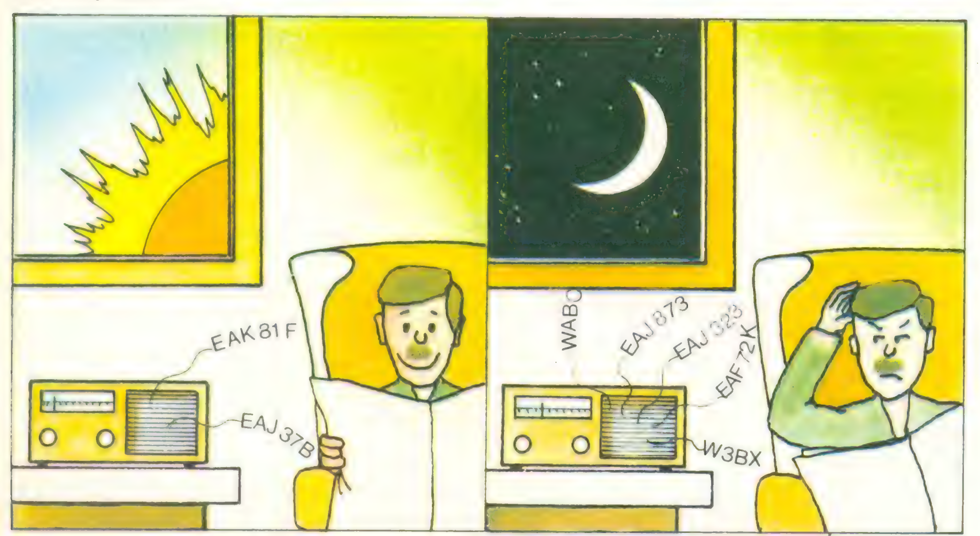


Alcance de las transmisiones en la banda de radiodifusión en MF. Dicho alcance se ve influido por la diferencia de alturas entre antenas transmisora y receptora.

predictibles. Además, como en esas frecuencias la onda de tierra tiene gran alcance, para nuestros efectos es la única que puede considerarse. En la banda de OM, la onda de espacio no regresa a la tierra durante el día; sin embargo, sí lo hace por la noche, debido principalmente a que la altura de la ionosfera sobre la superficie terrestre es más reducida, lográndose que el alcance de las emisoras sea muy grande. En cuanto a la banda de OC, el fenómeno es muy complejo, ya que, además de las condiciones de la ionosfera, continuamente cambiantes, hay que contar con que las emisiones radiadas con una frecuencia de portadora superior a un cierto valor crítico no son reflejadas a la tierra, sino que atraviesan la ionosfera y escapan hacia el espacio exterior, con lo que se pierden para nosotros. El valor de dicha frecuencia crítica no es fijo, siendo durante el día de valor más elevado que durante la noche. Es por esta razón que las emisoras que transmiten en las bandas de 16, 19, 25 e incluso la de 31 metros, se reciben mejor durante el día que durante la noche, mientras que con el resto de las bandas de radiodifusión en OC ocurre justo lo contrario, dándose la mejor recepción durante la noche.

De cualquier forma, la recepción de emisoras en OC es, en general, muy aleatoria, y desde luego en ningún caso podemos considerar que vaya a ser en alta fidelidad, aparte de por el exiguo ancho de banda transmitido, por la inseguridad de recibir una cantidad de señal suficiente como para escuchar con cierta regularidad una transmisión. Por contra, pueden recibirse (dentro de las condiciones comentadas) emisoras que se encuentren a más de 5.000 kilómetros de distancia, lo que también para algunos puede ser un aliciente. Sólo hay que

Las señales de las emisoras de OM se ven afectadas por las capas de la ionosfera. Así, durante el día, apenas si tienen efecto alguno sobre la propagación de las mismas. De noche, sin embargo, pueden conseguir alcances muy grandes, con lo que el número de emisoras que podremos sintonizar será muy elevado, aunque a veces la calidad sonora no sea muy buena.



ver el gran número de radioaficionados que existen hoy día, y cuya meta primaria es *establecer* una comunicación con un punto lejano, independientemente de la *calidad* del enlace.

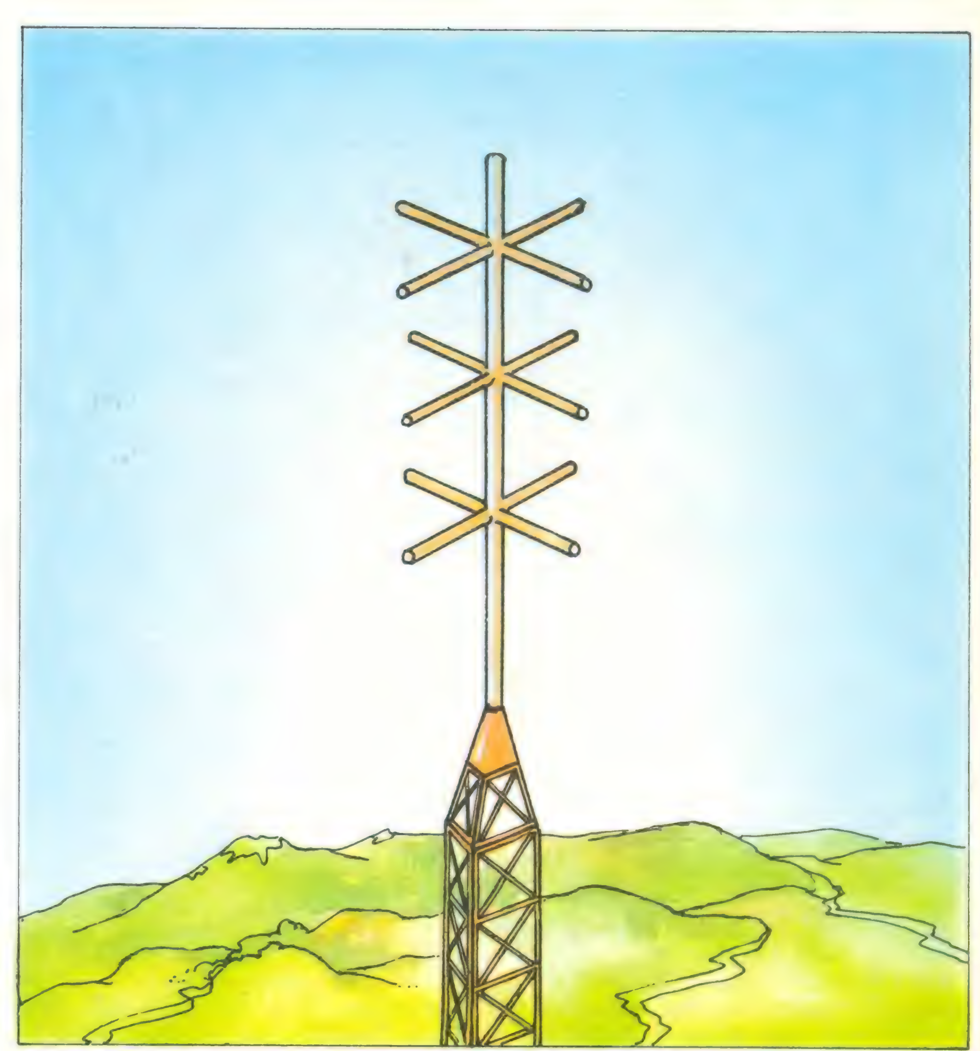
La propagación en VHF

Hasta aquí no hemos comentado nada de las características de propagación de las frecuencias muy altas, donde se encuentra la banda de radiodifusión en FM. La onda de tierra es ahora atenuada muy rápidamente, por lo que no podemos contar con ella para la comunicación. Por otro lado, la onda de espacio no es reflejada por la ionosfera, y escapa fuera de la atmósfera, imposibilitada de volver a la superficie de la tierra, con lo que tampoco nos resulta de ninguna utilidad.

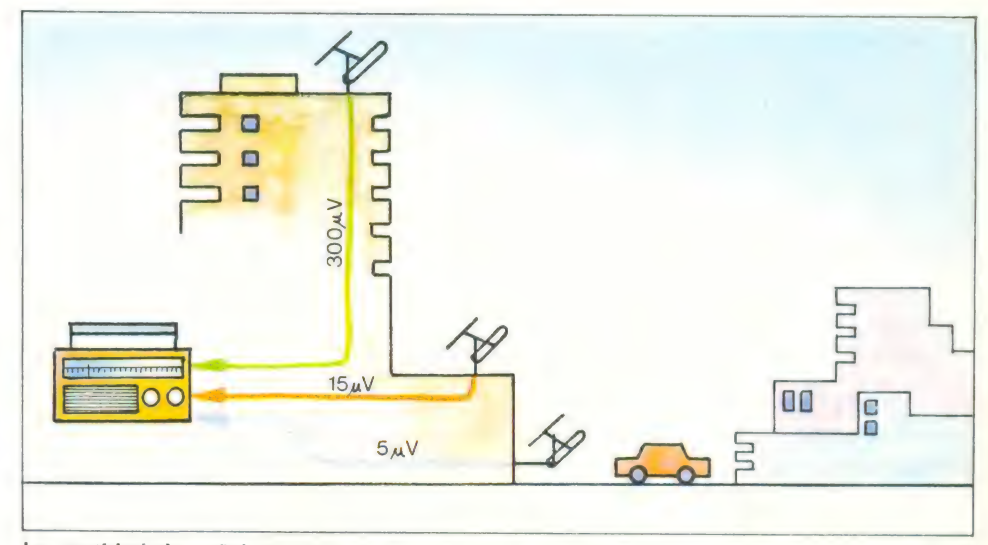
Así, pues, la única forma de comunicación que persiste es la que se realiza por medio de la onda visual, con lo que el alcance de este tipo de emisoras es muy limitado, y depende en gran manera de las alturas sobre el terreno a las que se encuentren las antenas transmisora y receptora, y casi nunca por la potencia con que transmiten las emisoras (superando un cierto valor). Por esta razón, la mayoría de las emisoras de la banda de FM son de una potencia relativamente baja, y sus antenas se encuentran colocadas lo más elevado que se pueda sobre el terreno circundante.

Una antena transmisora situada en lo alto de un edificio de 15 plantas (unos 40 ó 50 metros de altura) puede tener un alcance máximo de unos 40 kilómetros, mientras que si la misma antena se coloca sobre una elevación del terreno que se encuentre a unos 1.000 metros por encima de éste, pueden lograrse fácilmente alcances de 140 kilómetros. Para conseguir un alcance de 200 kilómetros, se requeriría situar la antena transmisora a más de 2.000 metros sobre el terreno circundante.

Como vemos, esta banda podrá estar ocupada por emisoras netamente locales, cuyo radio de acción medio raramente superará los 100 kilómetros de distancia desde la antena transmisora. Puesto que la propagación se efectúa por onda visual, su atenuación será pequeña, ya que es el aire el medio por el que viaja. Además, las condiciones de propagación apenas si variarán (los fenómenos atmosféricos tienen poca influencia sobre la propagación de ondas propiamente dicha, aunque puedan tenerla sobre las condiciones de recepción), con lo que lograremos una comunicación segura,



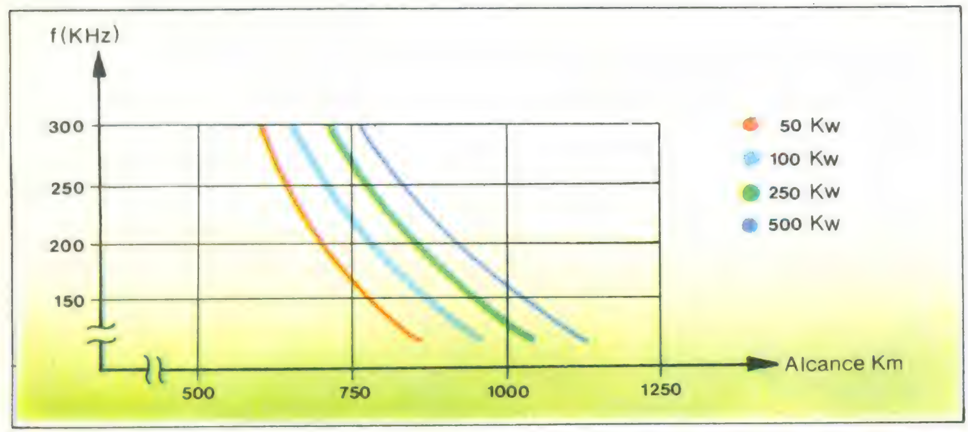
Las antenas de los transmisores de MF suelen situarse en lugares predominantes y lo más elevados posible sobre el terreno circundante.



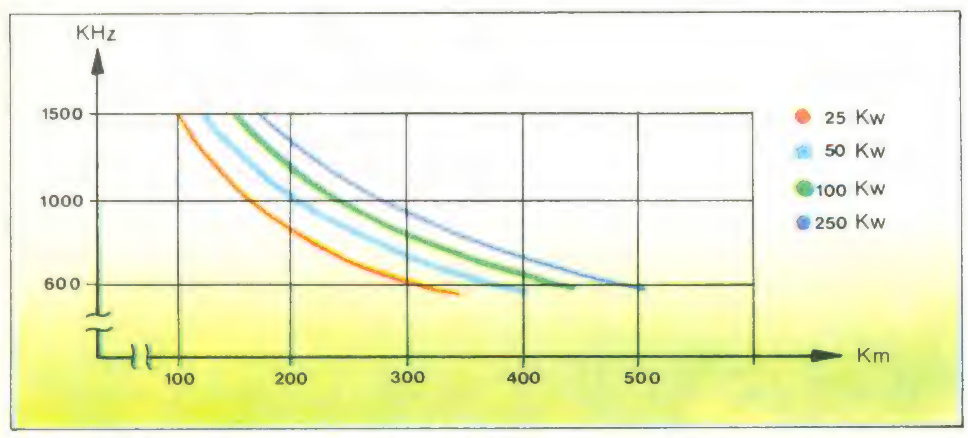
La cantidad de señal recogida por una antena receptora depende en gran manera de la altura sobre el suelo de la misma. Siempre debe procurarse colocarla lo más alto y despejado posible.

aunque de relativamente corto alcance.

Ya dijimos antes, que el alcance «visual» es relativo a lo que es, o no es opaco para las ondas de radio. Así, en las zonas urbanas, por ejemplo, las edificaciones no son estrictamente opacas, salvo las que poseen una estructura metálica densa, que son verdaderas «pantallas» para la señal de radio. De todas formas, se dan también fenómenos de reflexión (sobre el



Alcance de distintas emisoras en la banda de OL, en función de la frecuencia y la potencia transmitida. Se supone que el campo recibido es de 400μV/m, la propagación es sobre terreno firme, la antena transmisora es de λ/4, y es indiferente que se trate del día o de la noche.

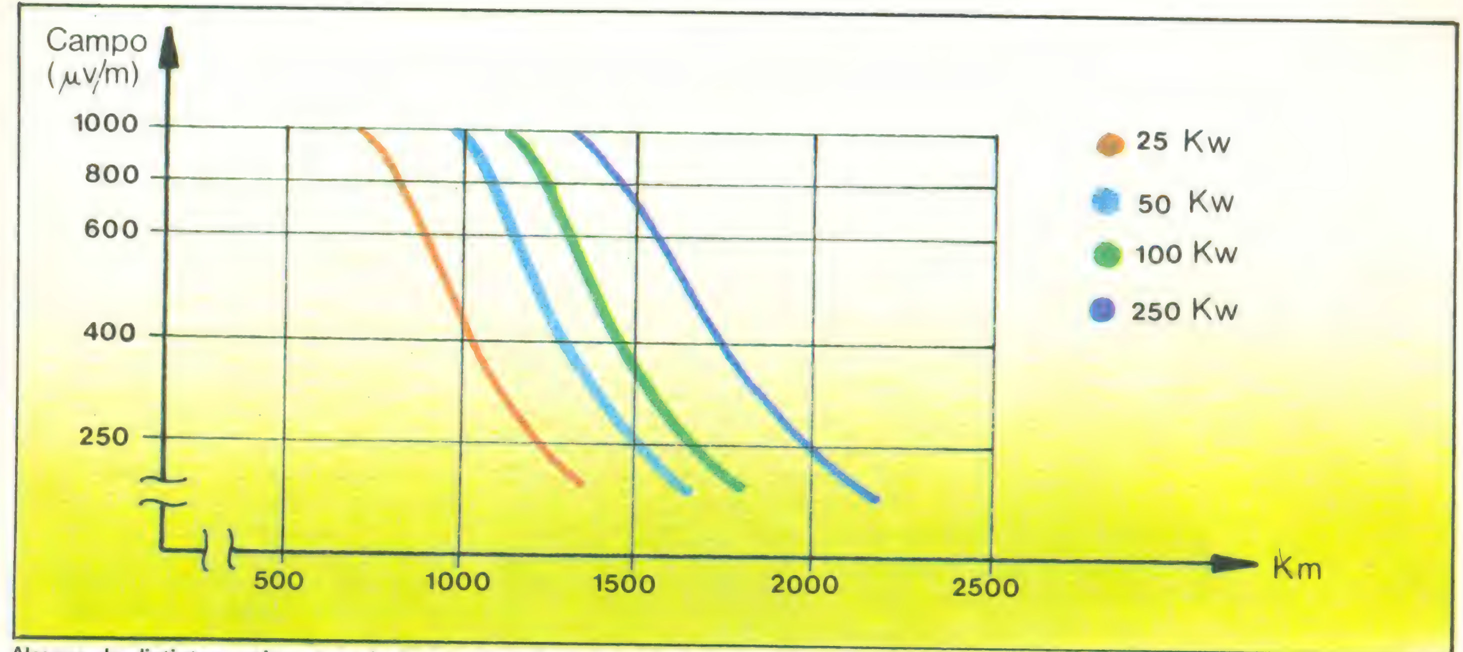


Alcance de distintas emisoras en la banda de OM, en función de la frecuencia y la potencia transmitida. Se supone que el campo recibido es de 400μV/m, la propagación es sobre terreno firme, la antena transmisora es de λ/4, y es de día.

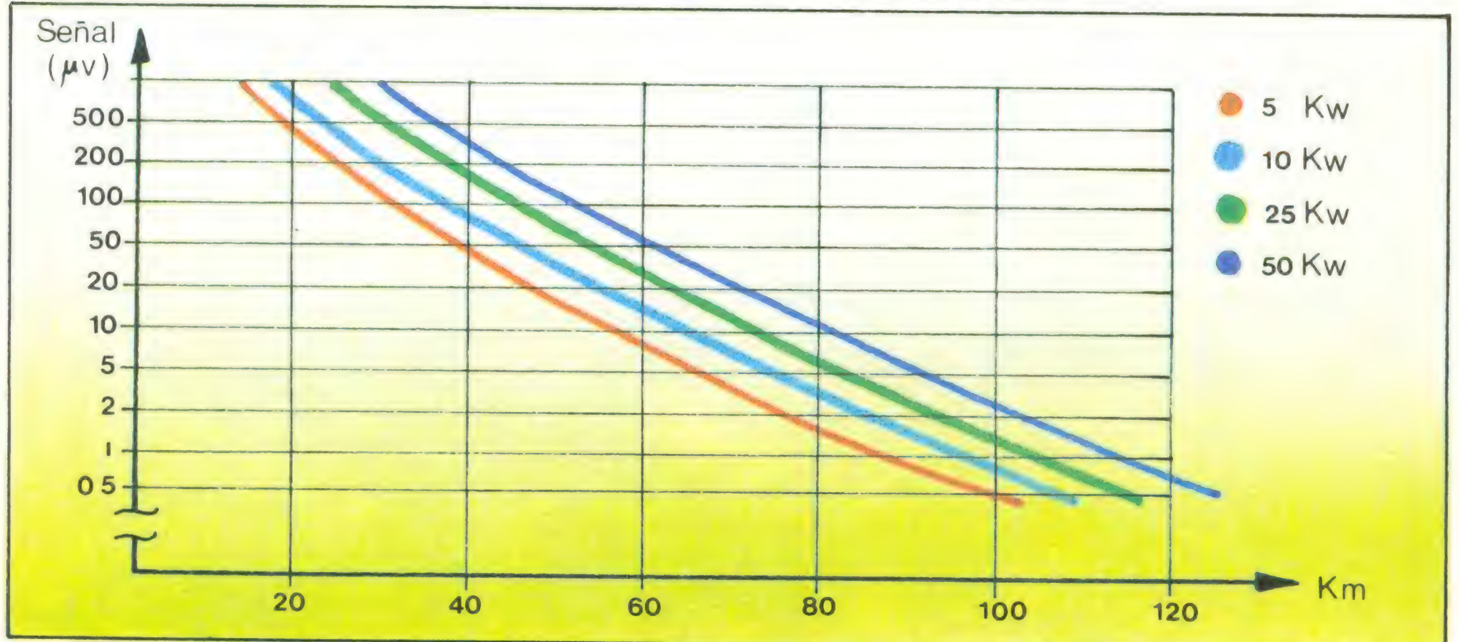
propio terreno o sobre determinadas edificaciones), por lo que la comunicación es segura incluso en grandes urbes, en particular si la antena transmisora está cercana y en situación elevada predominante.
Finalmente, destaca el hecho de la importancia que tiene el que la antena receptora esté situada en un lugar elevado y despejado (igual que la transmisora), aspecto sobre el que podemos tomar nosotros mismos acción, ya que las transmisoras no podemos variarlas. Si situamos la antena receptora a tan sólo 5 metros sobre el nivel del terreno, la señal que obtendremos será tres veces mayor que a ras del suelo, mientras que si conseguimos ponerla a 50 metros sobre el suelo, la señal obtenida será ¡60 veces! mayor.

Alcance de las transmisiones

Aunque la distancia a que puede recibirse una determinada emisora depende de infinidad de factores, podemos dar unas cifras aproximadas para hacernos idea de lo que se puede cubrir con ellas.
Como ya sabemos, en las bandas de OC la propagación es muy difícil de predecir, pues la onda de espacio puede encontrarse con condiciones buenas o regulares continuamente cambiantes. Además, depende en gran manera de la antena receptora que tengamos, y de la hora del día y estación del año, por lo que creemos muy aventurado hacer una estimación de alcance seguro. Lo que sí podemos decir es que en toda la península ibérica pueden recibirse programas desde toda Europa, Norte de Africa y Oriente Medio (la mayoría de los Estados transmiten programas en español a distintas horas y frecuencias) e incluso con antenas modestas pero adecuadas se reciben con facilidad programas desde los EE. UU.
Debido al estado cambiante de las condiciones de programación, a nuestro receptor van a llegar señales de amplitud muy variable (independientemente de la modulación contenida en ellas), incluso en el transcurso de minutos, produciéndose *desvanecimientos* (en inglés, «fadding»). Sería muy molesto para el oído estas continuas subidas y bajadas de la señal, por lo que la casi totalidad de los receptores incorporan un circuito llamado de C. A. G. (Control Automático de Ganancia), o *antidesvanecimientos* («anti-fadding») que le permite al receptor regular automáticamente la señal de salida para que tenga un valor constante, independiente de la mayor o menor amplitud de la señal que llegue a la antena.
Cuando la transmisión se realiza en OL, las condiciones de propagación por onda de tierra son poco cambiantes, y, por tanto, la recepción será muy constante a cualquier hora del día o de la noche. Una emisora que transmita en una frecuencia de 150 KHz con 100 Kw de potencia en antena, puede dar una intensidad de campo de 400μV/m a 1.000 kilómetros de distancia. 400μV/m es un valor de sensibilidad que prácticamente cualquier sintonizador moderno tiene.
Distancia cubierta y potencia de transmisión no son cantidades proporcionales. Si en lugar de 100 Kw la emisora radiase con 200 Kw (el doble), el alcance para 400μV/m apenas si llegaría a los 1.100 kilómetros (un 10 % mayor alcance). Para que con esos 200 Kw se llegaran a cubrir 1.500 kilómetros, el receptor tendría que llegar a una sensibilidad de unos 130μV/m, lo que ya es más difícil de conseguir.
Cuando nos vamos a la banda de OM, los alcances por onda de tierra se reducen bastante. Por ejemplo, la misma emisora de 100 Kw transmitiendo a una frecuencia de 1.000 KHz tan sólo alcanzaría unos 220 kilómetros para la sensibilidad de 400μV/m. En esta banda, el alcance depende mucho de la frecuencia.
Para la misma potencia de transmisión y la misma sensibilidad, el alcance de 600 KHz sería superior a 850 kilómetros, mientras que para 1.500 KHz llegaría escasamente a 150 kilómetros. Para potencia en antena de 25 Kw, el alcance lógicamente baja, pudiendo estimarlo en 300 kilómetros (a 600 KHz), 180 kilómetros (a 1.000 KHz) y 110 kilómetros (a 1.500 KHz).
La distancia cubierta con la onda de espacio es mucho mayor que con la onda de tierra para la banda de OM, aunque sólo es a partir de la hora que comienza a ponerse el Sol que la propagación por onda de espacio se hace importante. Así, para la sensibilidad de 400μV/m pueden lograrse fácilmente 1.500 kilómetros de alcance con 100



Alcance de distintas emisoras en la banda de OM, durante la noche, en función del campo requerido por el sintonizador y la potencia transmitida. Se supone la propagación sobre terreno firme y que la antena transmisora es de λ/4.



Alcance de distintas emisoras en la banda de MF, en función de la señal requerida en antena por el sintonizador y la potencia transmitida. Se supone la propagación sobre terreno firme, la altura de la antena transmisora es de 50 metros, la frecuencia de transmisión es de 100 MHz, la antena receptora es un dipolo en λ/2, y es indiferente que se trate del día o de la noche.

Kw; con 200 Kw podría llegarse a cerca de 1.700 kilómetros, mientras que con 25 Kw se llegaría hasta 1.100 kilómetros.

Finalmente, para la banda de FM, los alcances son muy distintos. Así, para emisoras que transmitan en 100 MHz y con una potencia de 25 Kw, el alcance depende de la sensibilidad del sintonizador, o mejor, de la mínima señal que necesite el mismo para dar una señal de audio de una calidad mínima (que ya veremos de qué factores depende).

Así, si el sintonizador requiere 55 μV en antena, el alcance será de tan sólo 40 kilómetros; si con 6 μV tiene suficiente, el alcance puede llegar hasta 70 kilómetros, mientras que si con 2,5 μV le basta para dar una cierta calidad, podremos recibir transmisiones hasta a 90 kilómetros de distancia.

Naturalmente, estos alcances que damos son orientativos, siendo en general válidos para receptores domésticos dotados de una antena adecuada (las de ferrita, o las de varilla, que incorporan los receptores portátiles pueden no ser suficientes). En zonas urbanas, el alcance se reduce en gran manera, aunque se suele compensar con la cercanía de las emisoras. No obstante, no es de extrañar que puedan existir zonas de «sombra», a donde sea difícil que puedan llegar las ondas, en particular para la banda FM. La solución sólo puede consistir en emplear una antena adecuada. También en zonas montañosas pueden darse casos parecidos. La vegetación frondosa es un grave inconveniente para la propagación de las señales de FM, hasta el punto de que tan sólo un kilómetro de bosque produce una atenuación del orden de 20 dB, lo que significa que la señal que sale es 100 veces más débil que la que entró. La solución en este caso es elevar la antena receptora por encima de toda vegetación, con lo que podrá conseguirse algo de señal útil.

Las antenas

CUALQUIER onda de radio que nos sirva para establecer una comunicación se desplaza por la atmósfera (o fuera de ella) entre un origen y un destino. Para que la onda hertziana pueda «nacer», y para que pueda ser recogida en el lado receptor, se necesita, en ambos casos, tan sólo una cosa: la *antena*.

En todas las bandas de radiodifusión, que son por las que ahora nos interesamos, la antena está formada siempre por un conductor de forma y dimensiones apropiadas al fin que se persigue. No siempre la antena es un hilo conductor; cuando la frecuencia de la señal de radio cae por las bandas de EHF y SHF no se emplean «cables» para llevarlas hasta la antena propiamente dicha, sino que se utilizan las llamadas *guía-ondas,* cuyo aspecto exterior se asemeja a tuberías de secciones rectangulares, siendo los técnicos que las emplean verdaderos «fontaneros», más que especialistas en electrónica. Las antenas, en estos casos, son simplemente las terminaciones, o bocas, de dichas guía-ondas.

Dimensiones

Realmente, cualquier hilo conductor puede servir de antena, y de hecho están continuamente ejerciendo dicha función; lo que ocurre es que debido a sus dimensiones (longitud, grosor, forma, etc.), suelen ser unas antenas, no ya malas, sino pésimas. Para que un conductor pueda ser considerado como antena lo primero que debe hacerse es dimensionarse adecuadamente a la frecuencia de la señal para la que vaya a emplearse. En general, el «tamaño» de la antena (ya hablaremos de formas) va en relación directa con la longitud de onda de la señal a manejar, que como ya sabemos está relacionada con la frecuencia según la expresión: λ (longitud de onda) = v (velocidad de propagación) / f (frecuencia).

Para hacernos una idea del tamaño ideal de una antena sólo hay que ver las longitudes de onda de las bandas de radiodifusión, que son sobre las que nos vamos a centrar. Así, para la OL (150 a 300 KHz) las longitudes

Elementos imprescindibles para captar las ondas de radio, las antenas suelen colocarse en el exterior de los edificios y generalmente en lugares altos y despejados.



de onda van de 1.000 a 2.000 metros; para la OM (525 a 1.650 KHz), de 182 a 571 metros; en OC, la longitud de onda viene dada por la misma nomenclatura de la banda (16, 19, 25, ..., 90 metros), mientras que para la banda II de VHF (87 a 108 MHz), las longitudes de onda varían desde 2,78 hasta 3,45 metros.

Para que una antena de transmisión comience a ser efectiva debe tener una longitud de un cuarto de la longitud de onda de la señal que va a enviar al aire. Así, las antenas para la banda de OL deberían medir entre 250 y 500 metros, y para la OM entre 45 y 143 metros; para la OC y la banda de FM suelen emplearse antenas más largas, próximas a una semilongitud de onda, de forma que en OC oscilarán entre 8 y 45 metros, mientras que para VHF, banda II, alrededor de 1,5 metros.

Una propiedad interesante que poseen las antenas es que se comportan en forma idéntica tanto a la hora de transmitir (enviar energía electromagnética al espacio), como a la de recibir (recoger dicha energía). Cualquier antena que se utilice para una transmisión, puede emplearse con igual rendimiento para recibir señales de la misma frecuencia. Los radioteléfonos portátiles utilizados en comunicaciones móviles (aficionados, policía, servicios de urgencia, etc.) utilizan una sola antena, que conectan internamente al transmisor cuando se pulsa la tecla que permite emitir, o al receptor cuando el equipo se está utilizando como tal.

Directividad

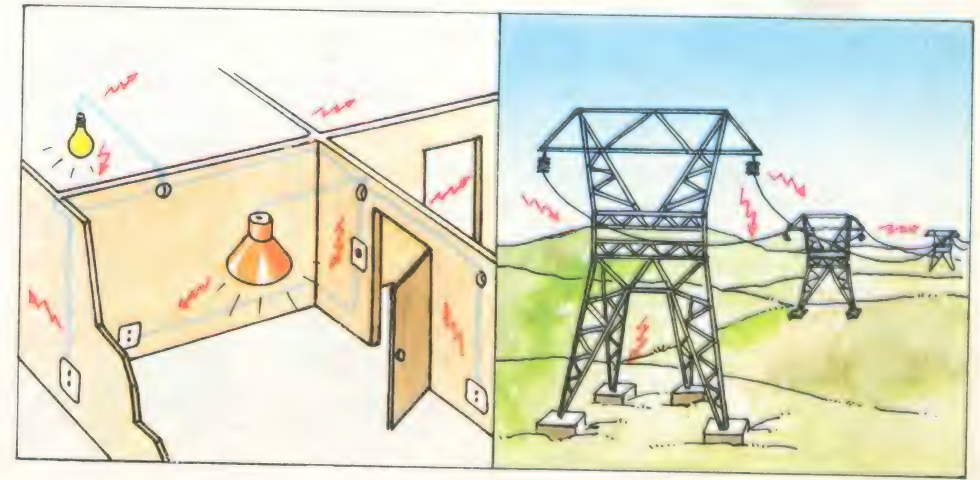
Ya hemos dicho que una antena es capaz de radiar energía al aire. La forma más simple de una antena es un hilo rectilíneo. Nos surge una pregunta: ¿radia esta antena energía al espacio por igual en cualquier dirección? La respuesta es no; cuando la antena tiene unas dimensiones comparables con la longitud de onda de las señales utilizadas (por ejemplo, las antenas de longitud de cuarto de onda que antes comentamos).

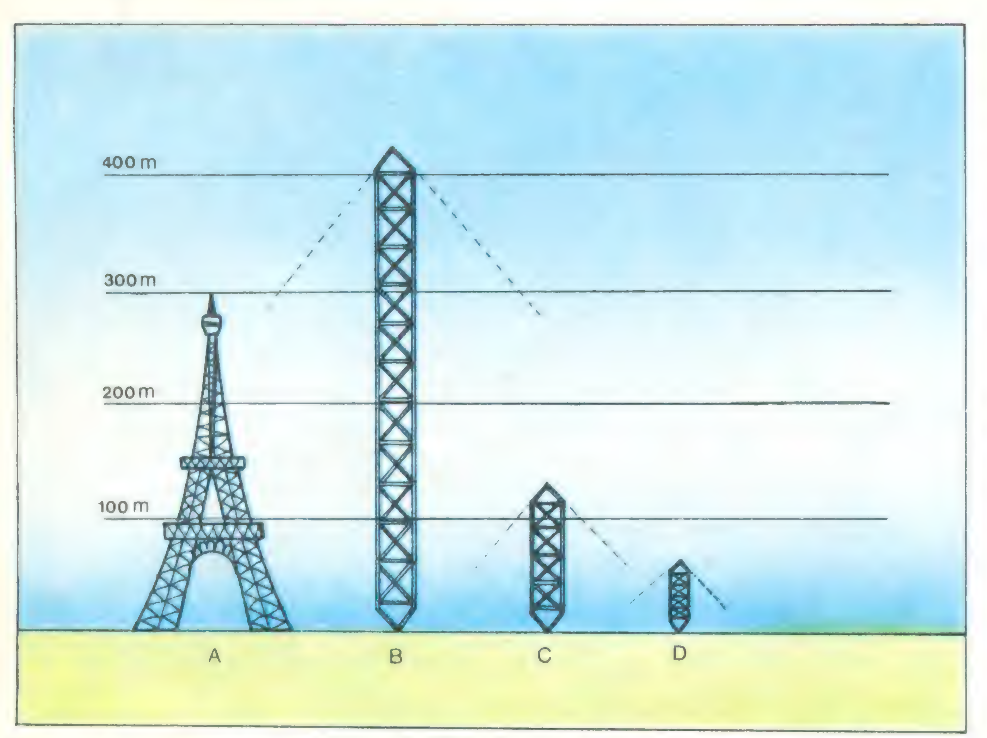
Existe una dirección en la que nuestra antena no radia energía, que es precisamente la de su eje, la línea que la contiene. Por contra, existe una dirección privilegiada, en la que la radiación es máxima, y es aquella perpendicular a la anterior. Realmente, no es una dirección única, sino más bien un abanico de ellas, contenidas todas en un plano perpendicular a la antena. Entre ambas direcciones, la radiación de la



Cuando se emplean frecuencias de transmisión muy elevadas (superiores a 1 GHz) los cables que las manejan adoptan peculiares características, convirtiéndose en las llamadas guías-ondas, y las antenas se hacen sumamente aparatosas, como las aquí mostradas.

Todos los conductores ejercen funciones de antena, sea cual sea su dimensión o forma. Las redes de distribución eléctrica manejan «señales» cuya frecuencia es de 50 Hz, a la que corresponde una longitud de onda de 6.000 kilómetros, por lo que incluso los conductores más largos son pequeños comparados con dicha longitud, y la efectividad de las «antenas» es muy pobre.





Tamaño comparativo de antenas. Aquí se muestran las dimensiones que habrían de tener unas antenas en $\lambda/4$ para distintas frecuencias. En el caso de OL, para 180 KHz (B), la antena debería tener una altura superior a la de la torre Eiffel (A). Para la OM, las dimensiones son inferiores, como puede verse en la antena para 600 KHz (C) y para 1,5 MHz (D).

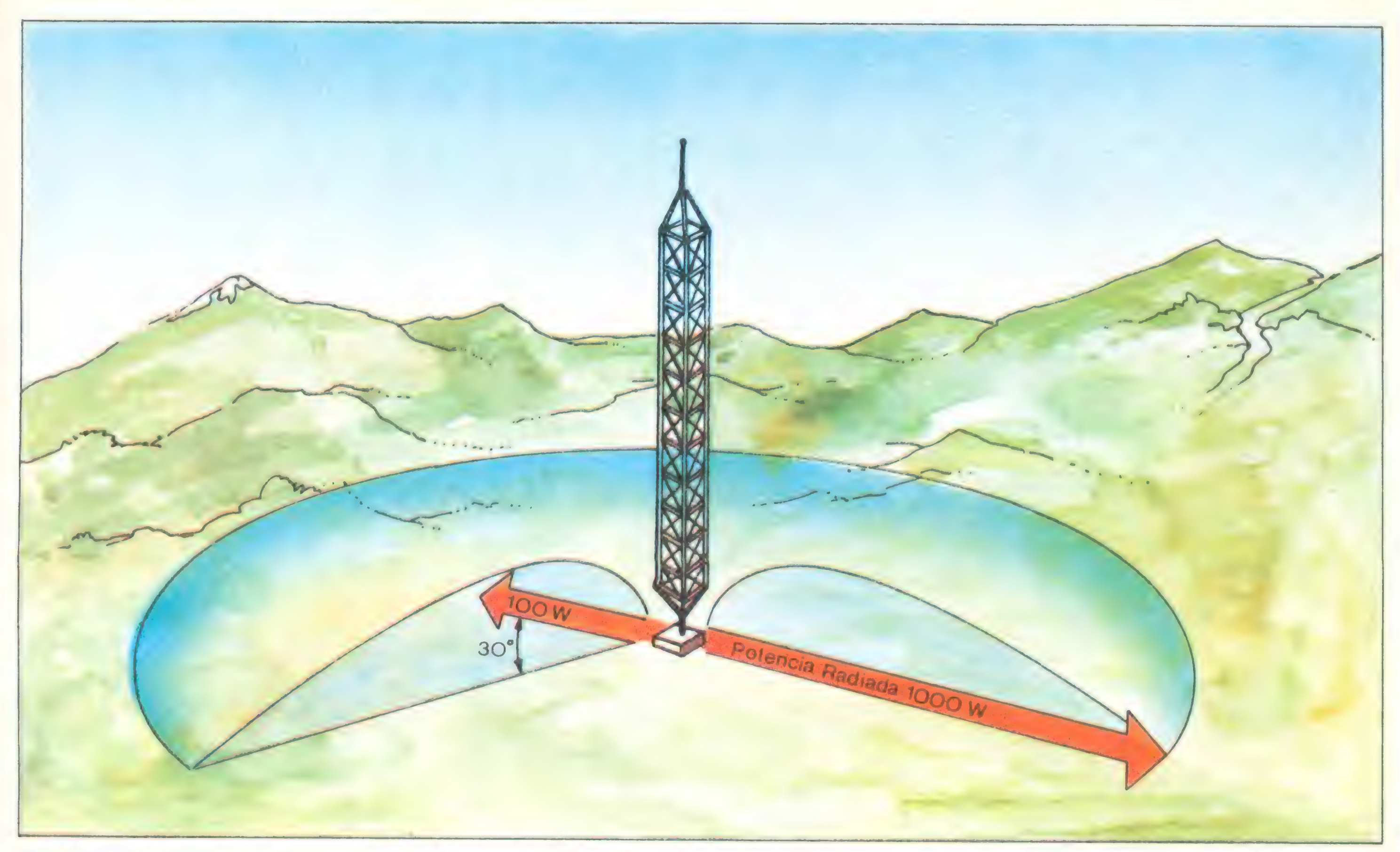
antena varía desde el máximo al mínimo (cero) de una forma que depende de varios factores, como la longitud real de la antena, su posición respecto de la superficie de la tierra, su altura sobre la misma, etc.
Esta propiedad, denominada *directividad* de la antena, que a primera vista podría parecer un inconveniente, en la práctica puede resultar útil. Por ejemplo, si ponemos nuestra antena vertical sobre el suelo, no radiará hacia el firmamento. Pero ¿para qué queremos emitir en esa dirección, si en la práctica los receptores van a estar sobre la superficie terrestre? Sería una energía que desaprovecharíamos con vista a los fines que perseguimos. En muchos casos, incluso se propicia esta directividad propia, acentuándola aún más. Por ejemplo, una antena vertical sobre la superficie terrestre de longitud igual a la de onda de la señal a transmitir radia más del 90 % de la energía dentro de un ángulo que va desde la horizontal hasta 30° por encima de la misma. Realmente, se aprovecha bien la energía radiada.
Esta acusada directividad en el plano vertical no es conveniente para el plano horizontal cuando la emisora es de radiodifusión. Muy al contrario, interesa que la radiación de energía en dicho plano lo sea hacia todos los puntos del horizonte, en todas direcciones, que sea *omnidireccional*. Cuando la antena es vertical, como antes, no existe problema en este sentido, pues radia por igual en cualquier dirección. Tan sólo en algunos casos muy concretos puede interesar una cierta directividad en el plano horizontal. Por ejemplo, cuando la emisión se realiza para cubrir una determinada zona, región o país, como ocurre con los programas de OC, donde desde un punto se pretende enviar una señal de radio para una determinada audiencia, que sólo va a interesar en una zona concreta. Cuando se trata de conseguir esta directividad se recurre al empleo de varias antenas o *radiadores,* que pueden ser *activos* (que actúan como tales antenas) o *pasivos* (que actúan sólo modificando la directividad), que combinados de forma y posiciones adecuadas dan las características deseadas. Un ejemplo cotidiano de este efecto lo tenemos en las antenas de recepción de TV, formadas por varios elementos, y de tal forma constituidas, que a mayor número de elementos, mayor directividad presentan.
Todas estas propiedades direccionales de las antenas también son característica común tanto para las transmisoras como para las receptoras. La antena de TV que acabamos de comentar la usamos como receptora; pero con iguales propiedades de directividad la podríamos utilizar para emitir las señales apropiadas. Esta dualidad transmisora-receptora es constante común en todos los aspectos que se puedan contemplar.

Las antenas presentan idénticas características tanto al transmitir como al recibir. Por eso, los radioteléfonos portátiles sólo incorporan una única antena, que, conectada adecuadamente al circuito interno, realiza las funciones de transmisora y receptora, según se requiera.



Tipos de antenas

Aquí podemos hacer dos grandes grupos, que nos relacionan la longitud física de la antena con la longitud de onda de la señal de radio a recibir. Estos grupos son los de las antenas periódicas y las aperiódicas.
Las antenas *periódicas* tienen un tamaño físico comparable con el de la longitud de onda que han de recibir. El término «comparable» significa que su longitud será, al menos, del orden de una cuarta parte de la de onda a recibir. Esto permitirá a la antena *resonar* con la señal que capta, multiplicándose la efectividad de la antena. Todos estamos acostumbrados a utilizar el término «resonancia». Si disponemos de una cuerda de un par de metros de longitud, y sujetamos uno de sus extremos en el pomo de una puerta, por ejemplo, cuando el otro extremo le cogemos con la mano y hacemos un movimiento de vaivén hacia arriba y abajo, todos sabemos que con un determinado ritmo podemos conseguir que la cuerda ondule de una forma regular. Habremos puesto en *resonancia* el ritmo de nuestra mano



Una antena verticalmente dispuesta sobre el terreno radia por igual hacia cualquier punto del horizonte; sin embargo, la radiación disminuye cuando se consideran ángulos sobre el horizonte. Verticalmente, la radiación es nula.

con la frecuencia propia de la cuerda. Esto mismo ocurre con las antenas. Por otro lado, las antenas *aperiódicas* tienen un tamaño físico que no tiene relación con la longitud de onda a recibir, siendo por lo general de tamaño mucho más pequeño que ésta. Por ejemplo, resulta raro encontrar una antena para coche que tenga más de 2 metros de larga, tamaño muy pequeño comparado con las longitudes de onda utilizadas en la OM, que, como sabemos, están comprendidas entre 182 y 571 metros.

Las antenas periódicas suelen denominarse según la relación existente entre su longitud y la de onda que van a recibir. Esta última suele representarse con la letra griega λ («lambda»). Así, existen las antenas en λ/4 (lambda cuartos) o de *cuarto de onda*, cuya longitud es la cuarta parte de la de onda de la señal a recibir; las de λ/2 (lambda medios) o de semilongitud de onda; y muchas otras, como la de 3/8 λ, 5/8 λ, etc., cada una con sus características propias.

Antenas prácticas

A pesar de que se adivina una preferencia por las antenas de tipo periódico, éstas presentan un gran inconveniente; que sólo se aprovechará al máximo su efectividad para una determinada longitud de onda, o todo lo más, para una banda muy estrecha alrededor de la misma. Esto resulta un inconveniente para emplearlas en la banda de OM, por ejemplo, donde se encuentran longitudes de onda desde 182 hasta 571 metros. Ninguna antena periódica será útil para cubrir la banda entera. Además, está el inconveniente del tamaño físico, pues una antena en λ/4 (que es la más corta) habría de tener una longitud de casi 150 metros para uno de los extremos de la banda. No digamos ya las dimensiones que se obtendrían si las emisoras a recibir estuvieran en la banda de OL.

Así, pues, desechamos para las bandas de radiodifusión de OM y OL las antenas de tipo periódico. Para estas bandas, la mejor antena que podemos recomendar es la constituida por un hilo lo más largo que se pueda, y colocado lo más elevado posible sobre el suelo: cuanto más largo, más señal nos llevará al sintonizador; cuanto más elevado sobre el suelo, menor cantidad de ruido captará. Además, debe colocarse lo más alejada posible de fuentes de ruido eléctrico, como redes de distribución eléctrica, transformadores, etc. La posición del hilo no tiene mucha importancia, puesto que su longitud será muy pequeña en comparación con la longitud de onda de la señal a recibir; en estas condiciones, no presenta apenas directividad, y podrá situarse en vertical, en horizontal, en zig-zag o tirado por el suelo.

Puede emplearse hilo eléctrico de cualquier sección, aislado o no, puesto que la corriente que va a circular por él va a ser pequeñísima. También pueden emplearse con igual efectividad las antiguas antenas de forma espiral, que pueden adaptarse a cualquier longitud con sólo estirarlas un poco. Hace treinta o cuarenta años resultaban imprescindibles para hacer funcionar cualquier receptor de radio. Hoy día no han perdido ni un ápice de su eficacia; lo que ha ocurrido es que los sintonizadores han multiplicado su sensibilidad, y ya no parecen ser útiles. Pero no es así; si aún disponemos de alguna, podemos usarla con plena confianza.

Es conveniente fijar la antena en sus extremos por medio de aisladores (de porcelana, por ejemplo), para que su

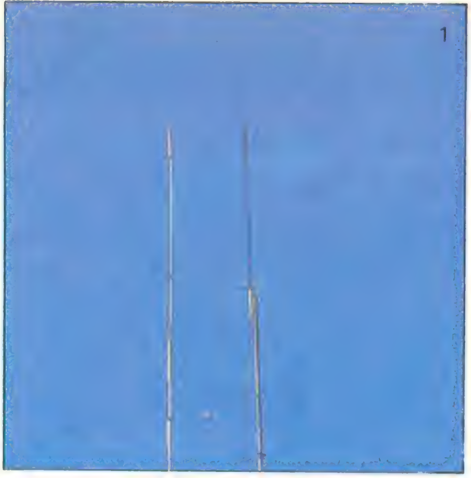
La directividad de una antena puede hacerse más acusada con la ayuda de los llamados elementos pasivos. Un caso típico lo tenemos en las antenas para las bandas altas de TV (UHF).

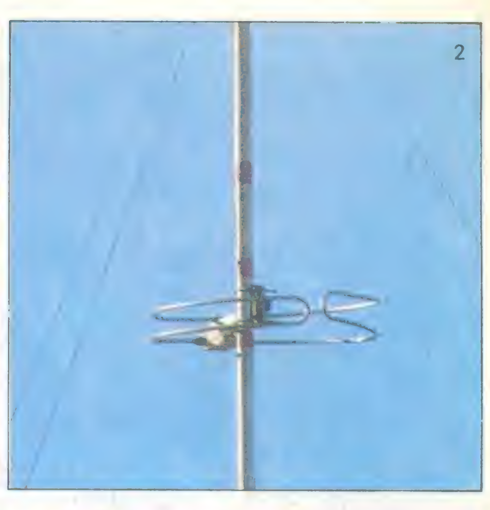
La casi totalidad de sintonizadores modernos incorporan una antena de ferrita, con lo que se consigue gran rendimiento sobre todo en OM y OL, pudiendo sustituir en algunos casos a la antena exterior.



efectividad sea mayor. Igualmente debe conectarse la toma de tierra del sintonizador (si es que la lleva) a una buena masa eléctrica, como por ejemplo la toma de tierra de nuestro edificio (atención: no conectar *nunca* la borna de tierra a uno de los polos de la red de distribución eléctrica, pues podría producirse un cortocircuito o una peligrosa pérdida de aislamiento). La casi totalidad de los sintonizadores modernos incorporan hoy día una antena de gran efectividad. Consiste en una barra de un material llamado *ferrita,* que se fabrica en distintas formas y tamaños. Lo más corriente es que vengan en forma plana o redonda, y siempre macizas. Su longitud puede variar entre 6 y 20 centímetros, siendo las redondas de hasta 10 milímetros de diámetro, y las planas de unos 4

Varias formas prácticas de antenas. 1) Antena con planos de tierra artificiales. 2) Antena dipolo plegado circular. 3) Antena VHF de tres elementos. 4) Antena de 27 MHz de coche. 5) Antenas para las bandas de aficionado.









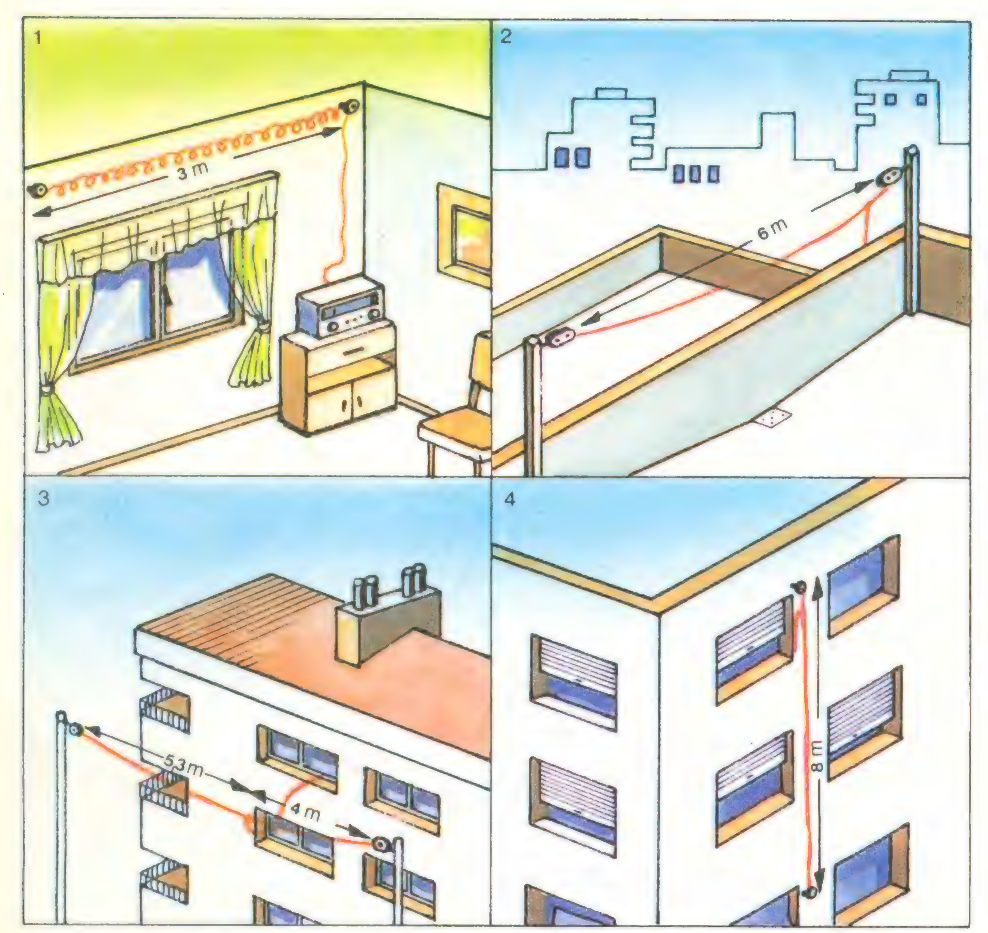


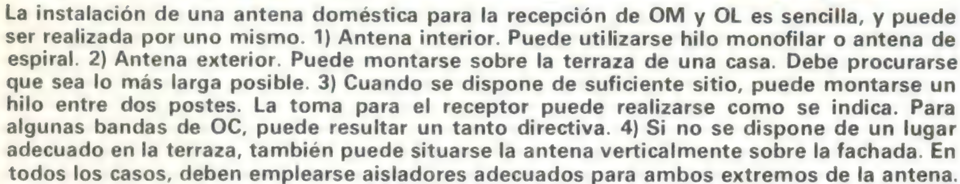
milímetros de grueso y un ancho de hasta 2 centímetros. Son de color grisáceo, y a veces van forradas de plástico (aunque la ferrita es un buen aislante eléctrico); son duras, pero muy frágiles, rompiéndose muy fácilmente.

La ferrita es un material con unas propiedades magnéticas muy acusadas (se emplea modernamente en equipos magnetofónicos). Debido a su baja reluctancia (término magnético equivalente a la impedancia eléctrica) es capaz de concentrar a su través las ondas electromagnéticas (que, como su propio nombre indica, tienen dos componentes, una eléctrica y otra magnética). Si sobre una barra de ferrita se arrolla una bobina, sobre ella aparecerá una cantidad importante de señal recogida del espacio; si esta señal se introduce al sintonizador, la ferrita habrá hecho las veces de antena, y de aquí su utilidad.

Una barra de antena de ferrita presenta una directividad muy acusada, de forma que apenas recoge las señales que tengan la misma dirección de su eje principal. Por esta razón, los receptores portátiles deben ser a menudo «orientados» en determinada dirección, para que puedan captar una cantidad suficiente de señal. La dirección privilegiada es la transversal al eje principal de la barra. La eficacia de la barra de ferrita disminuye conforme aumenta la frecuencia de la emisión, de forma que será especialmente útil para las bandas de OL y OM, y menos para la de OC. Un sintonizador que incorpore una barra de antena de ferrita no necesitará, normalmente, de antena exterior, salvo que se encuentre muy alejado de las emisoras o en zona de «sombra» o señal débil, en cuyo caso será imprescindible el uso de una antena de hilo como la anteriormente descrita.

Para la banda de OC no resulta sencillo recomendar un tipo de antena útil para cubrir todas las bandas. Antenas de tan sólo 5 ó 6 metros de largo pueden resonar en determinadas bandas (como las de 16, 19 y 25 metros), con lo que su eficacia puede mejorar mucho con relación a la obtenida en otras bandas, creándose un desequilibrio. Por otro lado, al ser la antena de dimensiones apreciables en relación a la longitud de onda de la señal recibida, las características de directividad




La instalación de una antena doméstica para la recepción de OM y OL es sencilla, y puede ser realizada por uno mismo. 1) Antena interior. Puede utilizarse hilo monofilar o antena de espiral. 2) Antena exterior. Puede montarse sobre la terraza de una casa. Debe procurarse que sea lo más larga posible. 3) Cuando se dispone de suficiente sitio, puede montarse un hilo entre dos postes. La toma para el receptor puede realizarse como se indica. Para algunas bandas de OC, puede resultar un tanto directiva. 4) Si no se dispone de un lugar adecuado en la terraza, también puede situarse la antena verticalmente sobre la fachada. En todos los casos, deben emplearse aisladores adecuados para ambos extremos de la antena.

Los receptores portátiles incorporan una antena de ferrita interiormente, no disponiendo generalmente de toma para antena exterior. Las antenas de ferrita son muy directivas, por lo que a veces hay que «orientar» el receptor en una dirección determinada, que permita recoger suficiente señal.




Para las bandas de OC y FM no suele ser demasiado efectiva la antena de ferrita, por lo que aquellos receptores que incorporan estas bandas suelen llevar también una antena del tipo extensible, para poder recibir señal adecuadamente.

comienzan a hacerse notar y deben tenerse en cuenta, por lo que siempre será preferible una antena vertical (omnidireccional) a otra horizontal (que presentará cierta directividad).
Aunque no puede desdeñarse la efectividad de la ferrita para la banda de OC, siempre es preferible el empleo de una antena de hilo, que captará mayor cantidad de señal para nuestro receptor. En este sentido, diremos que en aquellos receptores portátiles que incorporen una antena extensible será muy conveniente su uso para estas bandas, mientras que para OM y OL este tipo de antena no tiene apenas efecto alguno comparado con el de la antena de ferrita.
Si la escucha de las bandas de OC se va a hacer ocasionalmente, y tan sólo con ánimo de recibir cualquier emisión (no una específica y determinada), podrá valernos la misma antena que recomendamos para OM y OL. En caso contrario, aconsejamos al lector recurra a la literatura especializada, donde podrá encontrar el tipo de antena que en particular le sirva para la aplicación que desea.

Antenas para FM

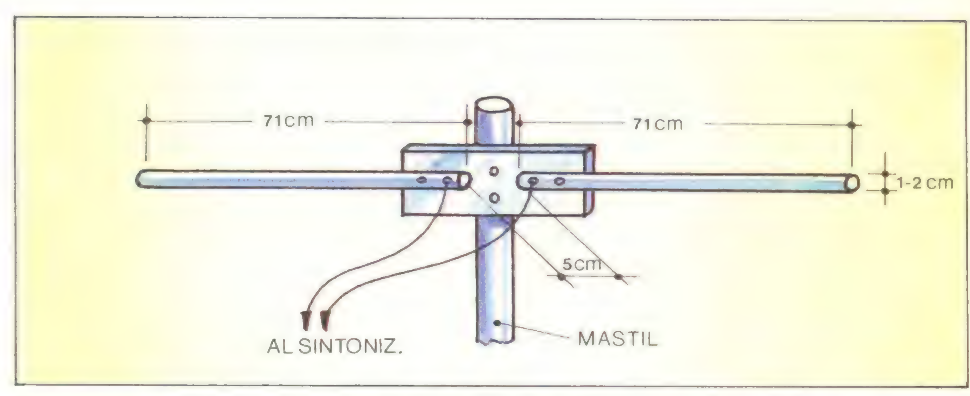
Mientras que para OM y OL la antena exterior se sustituye por una antena

que incorpora el mismo equipo sintonizador, para las frecuencias de la banda de radiodifusión en FM es totalmente imprescindible el uso de una antena exterior si queremos beneficiarnos de todas las ventajas que dicha banda ofrece.

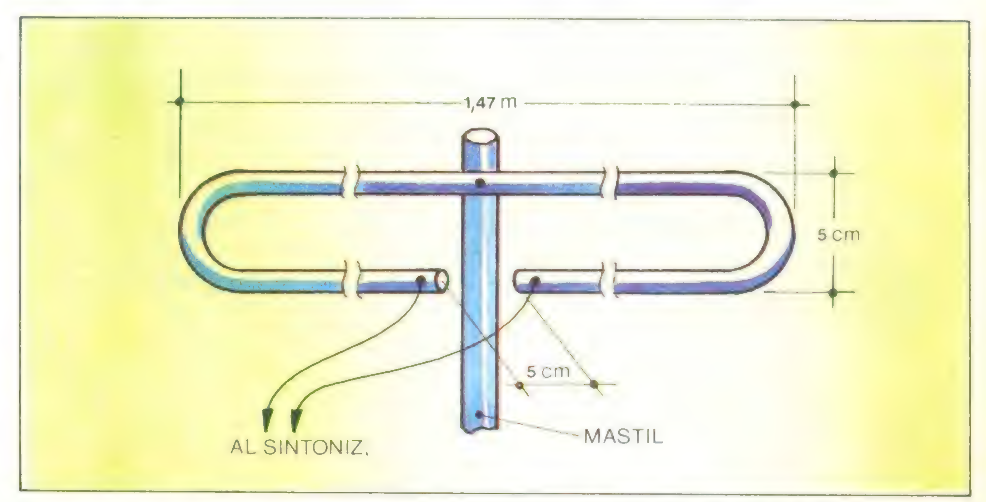
Ya dijimos en su momento que el tamaño físico de una antena está en relación directa con la longitud de onda de las señales con que ha de trabajar. En la banda de 87 a 108 MHz las longitudes de onda varían entre 2,78 y 3,45 metros, por lo que las antenas no van a ser escandalosamente grandes, como ocurría en las bandas de OM y OL. Por razones que ahora no vamos a detenernos a estudiar, las antenas de transmisión para esta banda (igual que para TV) se colocan en posición paralela al suelo, con lo que se consigue la *polarización horizontal* de la onda (al contrario que en OM y OL, donde la polarización es vertical). La posición idónea de las antenas de recepción es igualmente horizontal; en aquellas zonas en que la señal es débil, es muy importante la colocación en la posición correcta, ya que es en la que la antena enviará mayor señal al sintonizador para que éste pueda trabajar correctamente.

Una antena capta la mayor cantidad de energía posible cuando se hace *resonante* con la señal que llega (un ejemplo de resonancia lo tenemos en el circuito oscilante que nos sirve para sintonizar una emisora). La resonancia de una antena puede lograrse dándola una longitud adecuada. Para el tipo de antena que nos ocupa, la menor longitud de antena para la que resuena se corresponde aproximadamente con la *mitad* de la longitud de onda de la señal que recibe (es una antena en $\lambda/2$). Puesto que las longitudes de onda de las señales a recibir varían en un cierto margen, no vamos a emplear una antena para cada uno de los canales de la banda de FM. En la práctica, y debido a que la diferencia entre dichas longitudes de onda de los extremos de la banda no son muy grandes, se emplea una antena sintonizada para la frecuencia media de la banda, que se corresponde aproximadamente con 96 MHz y 3,12 metros. Por lo tanto, la antena en $\lambda/2$ que cubra la banda completa de FM deberá tener una longitud de 1,47 metros (se pueden admitir dimensiones comprendidas entre 1,40 y 1,55 metros sin gran error).

Ya tenemos la forma de la antena (un hilo o varilla rectilínea), su posición (horizontal) y su longitud (1,47 metros); sólo queda acoplarla al receptor. Para ello, la varilla se corta en su punto central y se hace una separación de

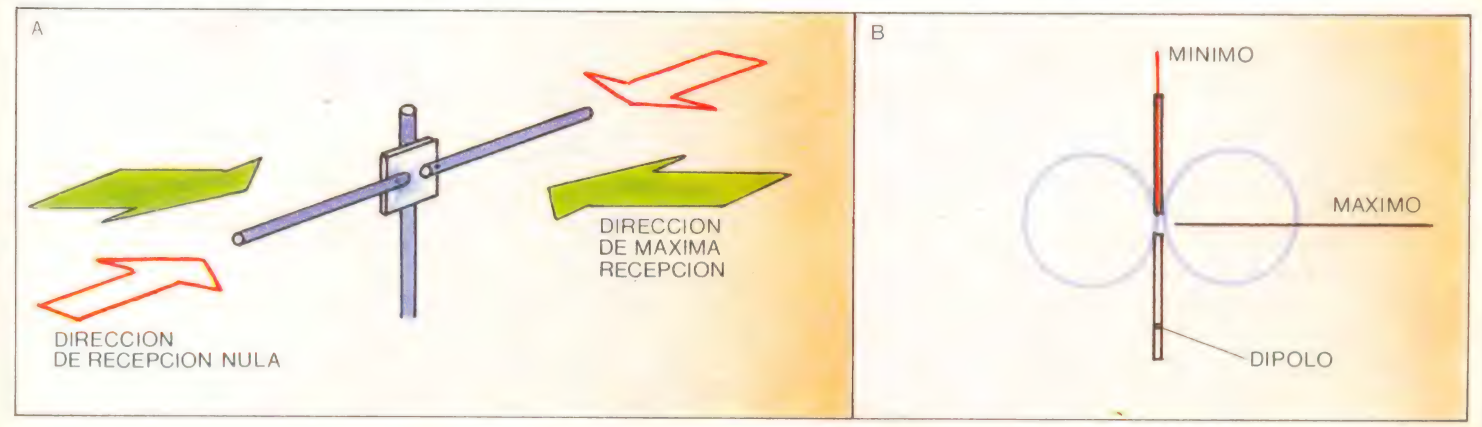


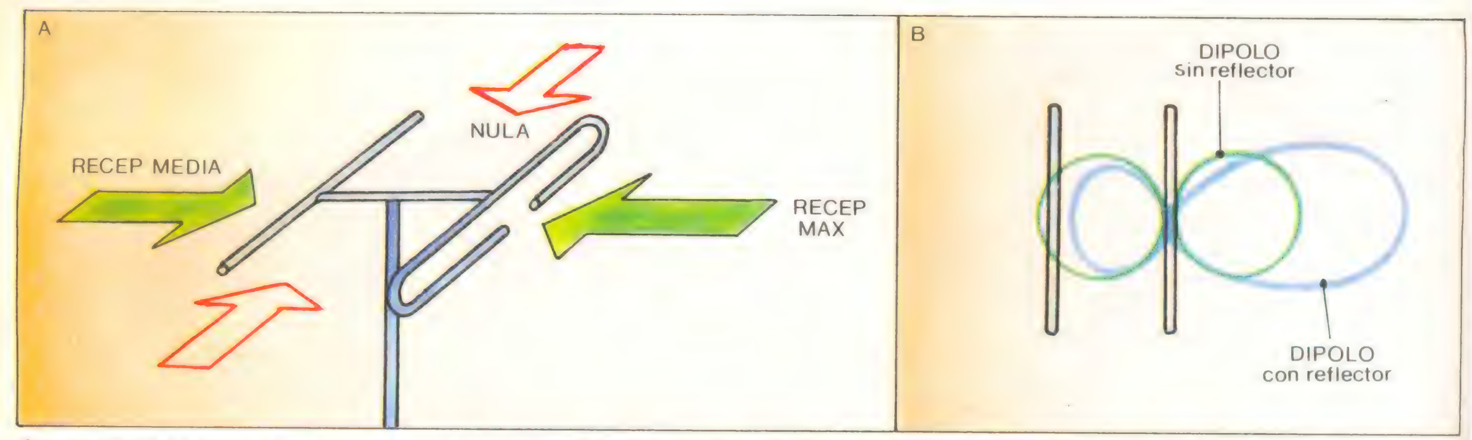
Construcción de una antena dipolo para la banda de FM. Puede emplearse tubo de aluminio de 10 ó 20 milímetros de diámetro. La placa de sujeción debe ser de material aislante (baquelita, plástico, etc.).



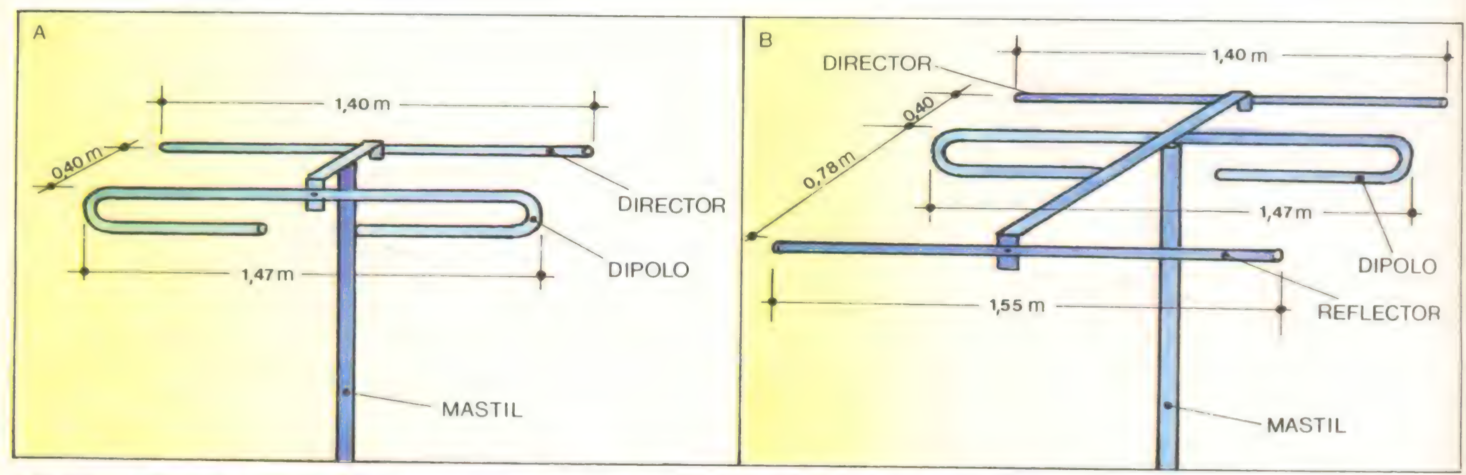
Construcción de una antena dipolo plegado para la banda de FM. El tubo puede ser de aluminio y el mástil puede fijarse directamente (sin necesidad de aislamiento) al punto central del brazo superior.

El dipolo tiene una dirección de recepción máxima (perpendicular a su eje) y otra de recepción nula (la de su eje). Esto hace que el diagrama de directividad sea como el mostrado en B.

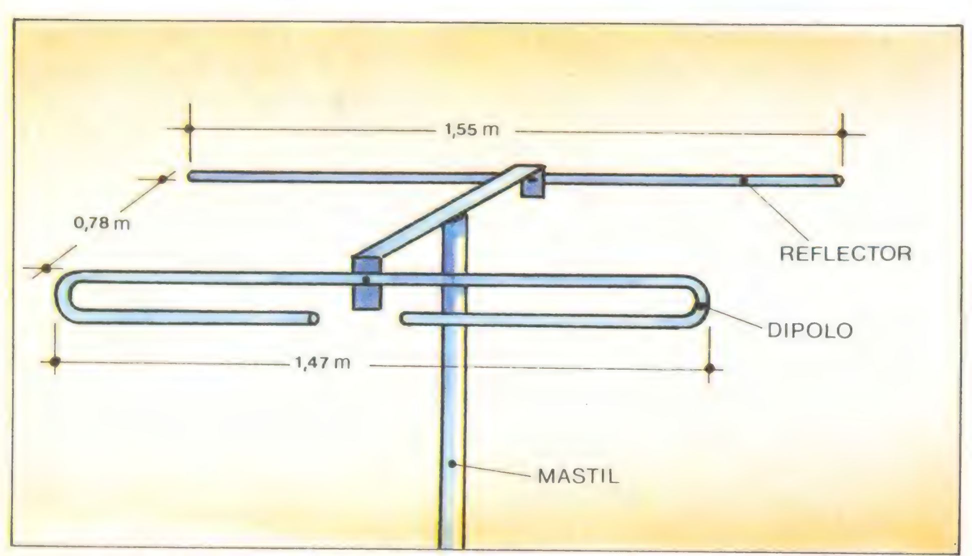




Característica de directividad de un dipolo con reflector. Como puede observarse, el conjunto tiene ahora un sentido privilegiado dentro de la dirección de máxima recepción.



Construcción de una antena dipolo (plegado o no) con director (A), y con director y reflector (B).



Construcción de una antena dipolo plegado con reflector. El tubo para el reflector puede ser igual que el empleado para el dipolo. No hace falta aislar del mástil el punto central de sujeción del reflector. El dipolo doblado puede sustituirse por un dipolo normal (la sujeción del mismo será entonces con aislante).

entre 3 y 5 centímetros. Hemos construido una antena *dipolo en λ /2,* llamada así por constar de *dos* brazos independientes. El dipolo tiene unas características de directividad muy acusadas. La máxima recepción se obtiene en la dirección perpendicular a la antena (en los dos sentidos), disminuyendo conforme el ángulo de incidencia de las ondas se va aproximando hacia el eje longitudinal de la antena, en el que la recepción es nula.

En principio, pueden construirse dipolos resonantes cuya longitud sea un múltiplo de una semilongitud de onda, aunque en este caso la característica de directividad presenta varias direcciones preferentes (en las que la recepción es máxima), por lo que no suelen emplearse sino para casos muy concretos, sobre todo porque pueden recoger interferencias no deseables, ruido, etc.

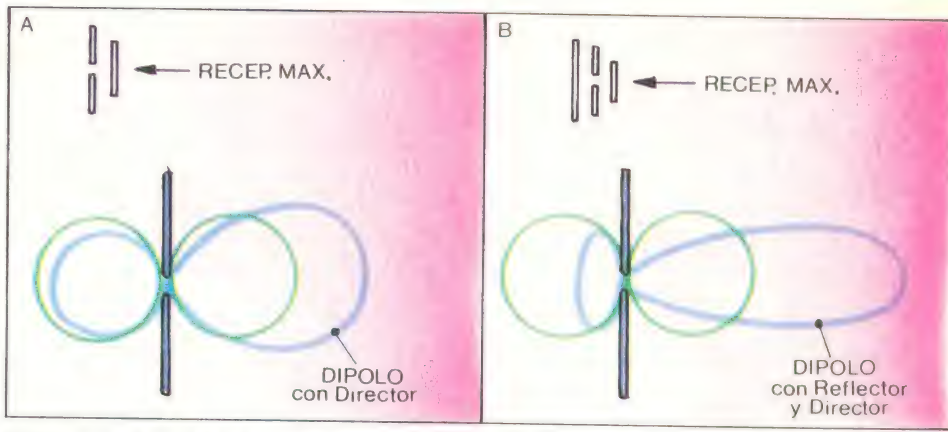
Otro tipo de antena muy utilizada para recepción de señales de FM es el llamado *dipolo doblado, plegado* o *antena trombón,* constituido por un dipolo normal al que se le acopla paralelamente una varilla de su misma longitud y grosor, separada una pequeña distancia por encima del dipolo (de 3 a 5 centímetros), y unida a éste por los extremos. Se acostumbra a redondear dichas uniones, constituyendo una varilla continua, sólo interrumpida en el centro de la parte inferior (igual que el dipolo), teniendo la apariencia de la corredera tubular de un trombón, de donde deriva uno de sus nombres. Las características de directividad y captación de señal son idénticas a las del dipolo normal en λ /2.

Elementos pasivos

La directividad de un dipolo es una característica interesante, pues permite recoger preferentemente aquellas señales que provengan de una dirección determinada, disminuyendo o incluso anulando otras señales no buscadas o interferentes (como, por ejemplo, ruido). En algunos casos puede resultar interesante aumentar el grado de directividad de un dipolo, lo que puede conseguirse fácilmente con la adición de determinados elementos adecuadamente colocados. Estos nuevos elementos no recogen señal por sí mismos, sino que ayudan al dipolo a hacerlo, por lo que suelen denominarse *pasivos*, diferenciándoles así del elemento activo, que es el que verdaderamente capta las radiaciones de las emisoras.

El elemento pasivo más ampliamente utilizado es el llamado *reflector*, consistente en un hilo o varilla ligeramente más largo que el dipolo (aproximadamente 1,55 metros) y dispuesto paralelamente a él a unas distancia de un cuarto de onda (esto es, unos 0,78 metros). El conjunto tiene ahora, dentro de la dirección perpendicular a ambos elementos, un sentido preferente, que es en el que la onda incidente alcanza primero el dipolo y luego el reflector. Esto presenta dos ventajas: en primer lugar, la señal captada por la antena es *mayor* que en el caso del dipolo simple (la relación entre ambos valores, en igualdad de condiciones, se llama *ganancia* de la antena, y se suele expresar en decibelios); en segundo lugar, la directividad aumenta, puesto que capta más señal por «delante» que por «detrás» (la relación entre ambos valores también suele expresarse en decibelios).

Otro elemento pasivo importante es el llamado *director*, que es también rectilíneo y paralelo al dipolo, aunque algo más corto (aproximadamente 1,40 metros), y colocado «delante» del dipolo a una distancia comprendida entre el 20 y el 50 % de la longitud del mismo. El dipolo con director tiene una ganancia ligeramente inferior que el dipolo con reflector (las ganancias son de 3 y 3,5 dB, respectivamente). Naturalmente, pueden disponerse un dipolo, un reflector y un director, todos en el mismo plano y con las medidas antes indicadas, con lo que se mejora la ganancia (unos 6 dB) y la directividad (cerca de 16 dB). Aún pueden añadirse mayor número de directores, con lo que ambos parámetros aumentan de valor, mejorando la efectividad de la antena. Todas las cifras y dimensiones dadas se refieren tanto al dipolo normal en $\lambda/2$ como al dipolo doblado.



Gráficos de directividad de las antenas dipolo con director (A), y con director y reflector (B).

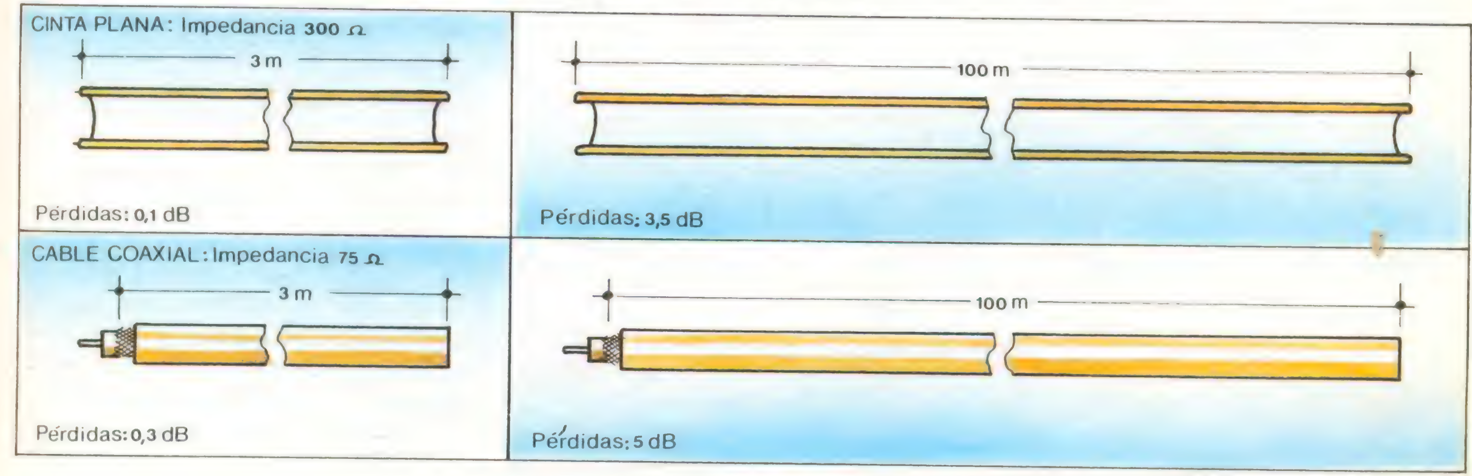
Adaptación de impedancias

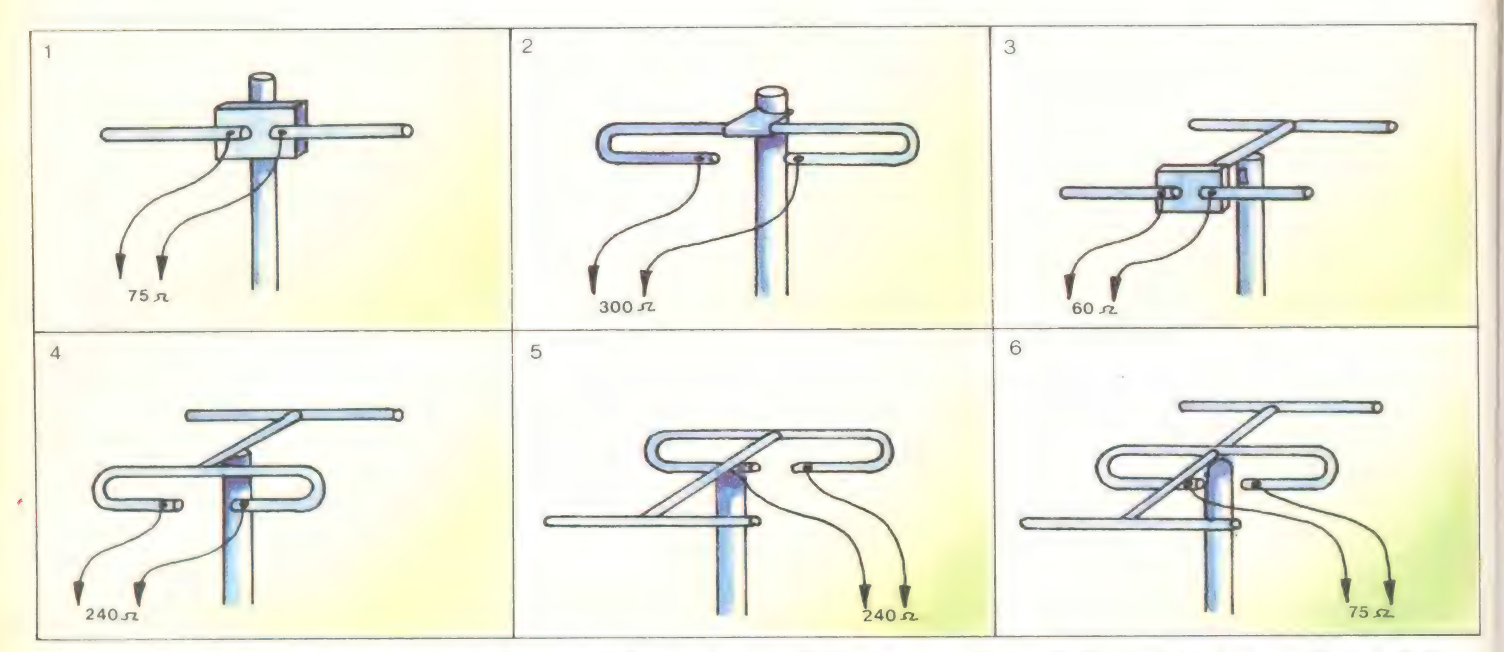
Ya conocemos la importancia que tiene que la impedancia propia de dos elementos a conectar entre sí sean iguales, y que podría resumirse en una frase muy sencilla: la adaptación de impedancias supone la máxima transferencia de energía de un elemento a otro.

Si una de las razones del empleo de una antena eficiente para FM es la de que al sintonizador llegue la mayor cantidad posible de señal, resulta claro que para conseguirlo la impedancia propia de la antena y la de entrada del sintonizador deben ser iguales. No nos olvidemos del cable que une ambos elementos, ya que, en general, antena y sintonizador van a estar relativamente alejados. De nada nos serviría la adaptación entre los dos si la unión no fuera eficiente. Para ello, la impedancia propia del cable debe coincidir también con la de la antena y el sintonizador.

No debemos confundir la *impedancia* que presenta el cable a las señales de FM con la *resistencia* eléctrica de los hilos de que está constituido el mismo. La impedancia depende de la forma, dimensiones y materiales de que está constituido el cable, y *no* de-

La impedancia de un cable es independiente de la longitud empleada. Sin embargo, las pérdidas (en las que interviene la resistencia del conductor empleado) son mayores cuanta más longitud del mismo se emplea.





Impedancias propias de diversas antenas: 1) Dipolo. 2) Dipolo doblado. 3) Dipolo con reflector. 4) Dipolo doblado con reflector. 5) Dipolo doblado con director. 6) Dipolo doblado con director y reflector.



Las tomas de antena más corrientes en los sintonizadores son la simétrica de 300 ohmios y la asimétrica de 75 ohmios.

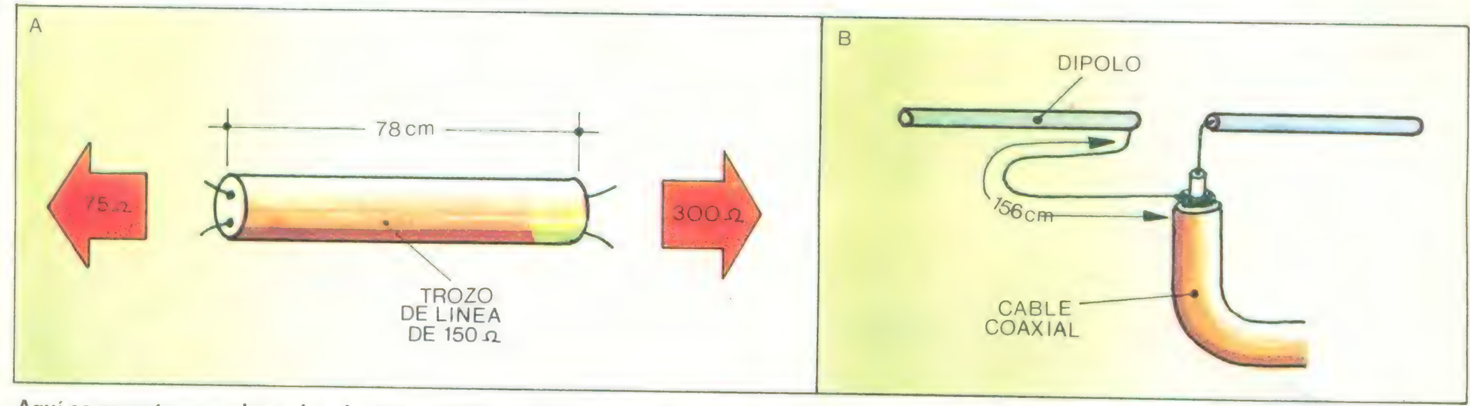


Típicas líneas de bajada de antena.

pende de la longitud empleada. La resistencia depende de la naturaleza y dimensiones del material conductor empleado, y, por tanto, de la longitud de cable utilizada. La resistencia es un parámetro que *no* se tiene en cuenta para la adaptación de impedancias, y sólo interviene para definir las mayores o menores pérdidas que se den en la línea de transmisión entre antena y sintonizador: a mayor longitud, mayores pérdidas, aunque exista una adaptación perfecta de impedancias (una desadaptación puede producir tantas pérdidas como las introducidas por 200 metros de cable).

Los valores de impedancia prácticos se mueven sobre valores relativamente bajos. Un dipolo normal en $\lambda/2$ presenta una impedancia de unos 75 ohmios, mientras que uno plegado, en las mismas condiciones, tiene unos 300 ohmios de impedancia. A pesar de que cara a la señal de radio presentan características idénticas, no se comportan de igual forma frente al sintonizador. La adición de elementos pasivos que aumentan la directividad y ganancia del dipolo hacen también variar su impedancia. Así, un dipolo normal con reflector pasa a tener una impedancia de unos 60 ohmios, mientras que un dipolo doblado, igualmente con reflector, pasa a tener unos 240 ohmios. Si además del reflector se incorpora un director, la impedancia baja más aún, dependiendo además de la separación del mismo, pudiendo llegar a presentar el dipolo doblado con reflector y director una impedancia de tan sólo 75 ohmios. La dependencia de la impedancia con los distintos parámetros comentados no es sencilla, y su exposición se sale de nuestros propósitos. El lector interesado podrá encontrar amplia bibliografía al respecto.

En el comercio existen dos tipos básicos de cable para antenas: la cinta plana y el cable coaxial. La *cinta plana* se puede obtener en varias presentaciones. Está constituida por dos conductores paralelos separados por una cinta de material plástico. El conjunto puede ir en el interior de una funda plástica. Hay cintas de 300 y 240 ohmios. El *cable coaxial* está formado por un conductor central rodeado de un aislante, y éste a su vez rodeado de un nuevo conductor tubular (o una malla conductora) concéntrico con los anteriores. El conjunto va protegido con una cubierta plástica. Se encuentran cables coaxiales de 60 y 75 ohmios. La malla o conductor exterior de



Aquí se muestra un adaptador simétrico de 75 a 300 ohmios (o viceversa) con 78 cm de línea de 150 ohmios de impedancia característica (A), así como un simple adaptador de una línea asimétrica (cable coaxial) a una antena simétrica (dipolo); las impedancias características de ambos deben ser iguales (B).

ANTENA	IMP (Ω)	ENTRADA ASIMETRICA 75 Ω		ENTRADA SIMETRICA 300 Ω	
		SEÑAL DEBIL	SEÑAL FUERTE	SEÑAL DEBIL	SEÑAL FUERTE
Dipolo	75	Simet/Asimet	—	Adaptador c/línea 150 Ω	—
Dipolo c/refl.	60	Simet/Asimet	—	Adaptador c/línea 150 Ω	—
Dipolo plegado	300	Balún 300/75	Balún 300/75	—	—
D. plegado c/refl.	240	Balún 240/75	Balún 240/75	—	—
D. plegado c/refl. c/direc.	75	Simet/Asimet	—	Adaptador c/línea 150 Ω	—
Colectiva	75	—	—	Balún 75/300	Balún 75/300

En esta tabla se muestran los distintos tipos de adaptadores recomendados para distintas combinaciones de antena y entrada al sintonizador.

un cable coaxial, conectada adecuadamente, puede ejercer una protección efectiva contra interferencias exteriores, por lo que cada vez es más utilizado este tipo de cable. Por lo general, los dos conductores no realizan funciones intercambiables entre sí, por lo que se considera como una típica línea *asimétrica*. Por el contrario, los dos conductores de una cinta son totalmente intercambiables, por lo que la línea es *simétrica*.

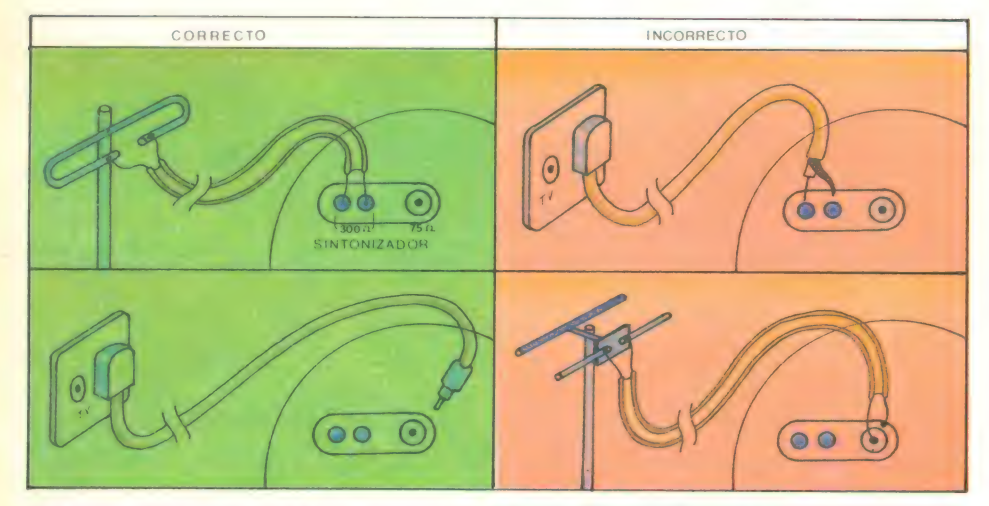
El dipolo es una estructura totalmente simétrica, siendo ambos terminales intercambiables desde el punto de vista eléctrico. El cable que nos lleve la señal al sintonizador ha de ser, por tanto, simétrico. Consecuentemente, el tipo de cable idóneo es la cinta de la impedancia adecuada. Por otra parte, los sintonizadores suelen tener dos entradas de antena para FM distintas: una simétrica de 300 ohmios, y otra asimétrica de 75 ohmios. Naturalmente, existen adaptadores de impedancia y/o simetría, de forma que pueda realizarse cualquier tipo de acoplamiento.

La existencia de este acoplamiento es fundamental en la unión entre cable y sintonizador, ya que parte de la energía que llega puede resultar «reflejada» de nuevo hacia la antena si las impedancias no están acopladas, disponiendo entonces el sintonizador de mucha menor cantidad de señal. Por tanto, el tipo de cable a emplear vendrá fijado principalmente por la entrada de antena del sintonizador. No es vital la adaptación entre antena y cable, unión en la que pueden admitirse ciertas pérdidas, ya que la introducción de un adaptador puede ocasionar parecidas pérdidas que una desadaptación. Solamente en aquellos casos en que la señal disponible sea débil es aconsejable un adaptador adecuado en esta unión.

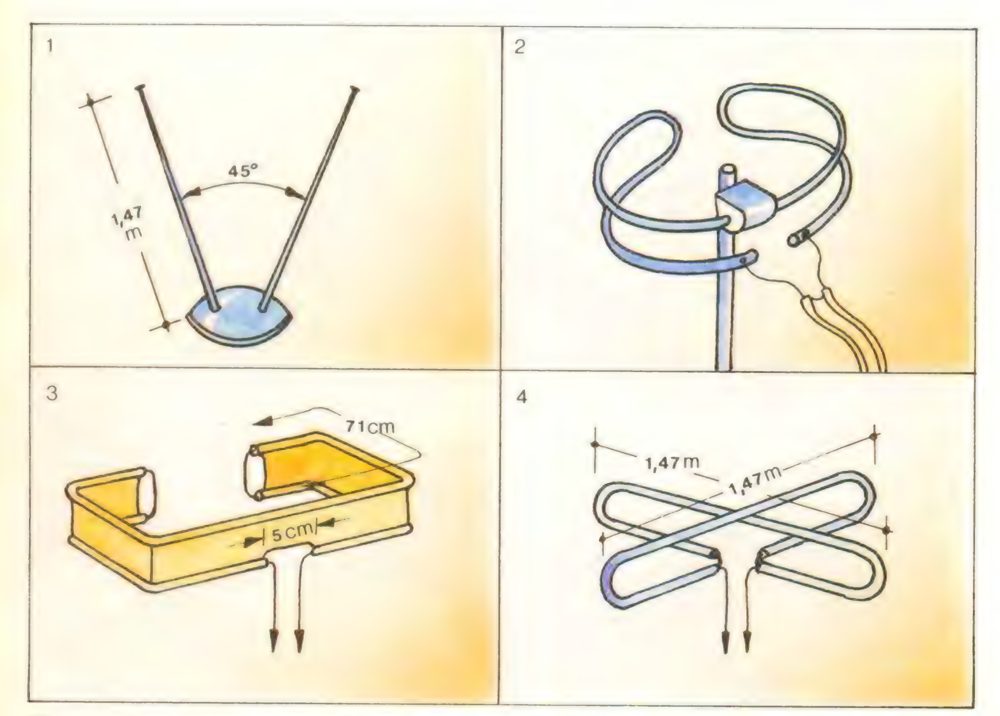
En caso de disponer de toma del sistema de antena colectiva, ésta es siempre de tipo coaxial (asimétrico) y no debe conectarse nunca directamente a la toma de 300 ohmios simétrica del sintonizador. Lo correcto es realizar el empalme a la entrada de 75 ohmios (que en la inmensa mayoría de los casos será asimétrica), o bien emplear un adaptador de 75 ohmios/asimétrico a 300 ohmios/simétrico (conocidos con el nombre de *balún)*.

Otras antenas

Una antena que se ha hecho muy popular es la constituida por dos varillas de 1,47 metros ($\lambda/2$) cada una colocada en un plano vertical y formando un ángulo de unos 45 ó 50°, conocida como *antena en V* debido a su forma. Se utiliza principalmente para interiores y la dirección de mayor captación de señal se encuentra perpendicularmente al plano que contiene las vari-



Debe prestarse atención a la unión entre el cable de bajada de antena y el sintonizador, ya que pueden ocasionarse pérdidas de señal importantes.



Diversos tipos de antena para FM: 1) Antena en V. 2) Antena dipolo doblado omnidireccional. 3) Antena interior omnidireccional construida con cinta plana de 300 ohmios. 4) Antena en molinete con características direccionales.

llas. Su uso es sólo aconsejable cuando la señal disponible es elevada. Aunque presenta una impedancia de unos 75 ohmios, puede acoplarse con cinta de 300 ohmios a la toma simétrica del sintonizador, o bien con un cable coaxial de 75 ohmios directamente. Cuando la antena se va a situar en un punto al que van a llegar las ondas radio desde varias direcciones (por ejemplo, cuando está enclavada en el casco urbano de una población, donde por lo general las distintas emisoras estarán situadas en la periferia) la directividad es un poco inconveniente, puesto que la antena captará más señal de unas emisoras que de otras. No es una solución práctica disponer de una antena orientada en cada una de las direcciones, por lo que suele recurrirse a dar forma circular a la misma, con lo que se convierte en omnidireccional (capta por igual desde cualquier dirección).

Esta es una solución que resulta aceptable, en general, ya que el nivel de señal que se obtiene en la práctica en los cascos urbanos es muy elevado, captando cualquier tipo de antena suficiente señal como para que el sintonizador trabaje cómodamente. Por tanto, puede utilizarse tanto el dipolo normal como el plegado (sin elementos pasivos) formando una circunferencia, convirtiéndose así en omnidireccionales.

Otra antena que puede utilizarse en interiores en aquellas zonas con mucha señal, es la constituida por un trozo de cinta plana de 300 ó 240 ohmios de 1,47 metros de longitud, al que se le practica un corte de longitud igual al ancho de la cinta en el centro de uno de los conductores. Los terminales de los dos extremos se cortocircuitan. En realidad lo que hemos construido es un dipolo doblado con hilo flexible. Dicha antena puede colocarse en el interior o en la trasera de cualquier mueble, preferiblemente en forma circular, para que reciba por igual desde cualquier dirección. Su impedancia es de unos 300 ohmios, y puede conectarse directamente a los terminales de entrada simétrica del sintonizador.

También pueden conseguirse antenas omnidireccionales colocando dos dipolos en planos perpendiculares *(molinete)*, aunque se necesita un pequeño adaptador entre ambos para conseguir que el conjunto reciba por igual desde cualquier dirección. Pueden también combinarse con una antena para AM; mezclando ambas señales, pueden unirse con un solo cable con el sintonizador, aunque previamente habrá que separarlas de nuevo.

Por último, para aquellos lugares en que la recepción sea muy débil, es muy conveniente utilizar antenas multielementos. Dichas antenas pueden dotarse de sistemas mecánicos de rotación por medio de motores adecuados, para desde el interior de nuestra casa orientar el eje principal de la antena en la dirección óptima. En este caso será imprescindible la adaptación de impedancias antena-cable-sintonizador.

Esta solución también puede adoptarse cuando exista gran interferencia de una emisora no deseada, o cuando sólo nos interese recibir una transmisión concreta, en cuyo caso incluso puede suprimirse el sistema de rotación (como suele hacerse con las señales de TV).

Cualquier antena de FM, incluso aunque sea omnidireccional, debe colocarse lo más elevada posible sobre el terreno circundante. Esta disposición ayuda a recibir emisoras más lejanas y a una menor captación de ruido, por lo que es siempre aconsejable.

El receptor de radio

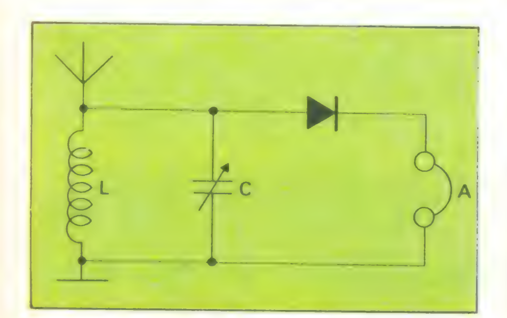
DESDE el descubrimiento de la transmisión radioeléctrica y la posterior fabricación de los primeros aparatos capaces de recoger las señales emitidas y convertirlas en audibles, hasta nuestros días, los receptores de radio han experimentado una profunda evolución y transformación pasando de ser unos equipos de bastante complejidad y muy voluminosos a los más modernos radiorreceptores de pequeño tamaño capaces de ser transportados en un bolsillo, o los equipos sintonizadores de gran calidad y elevadas prestaciones.

Receptor elemental

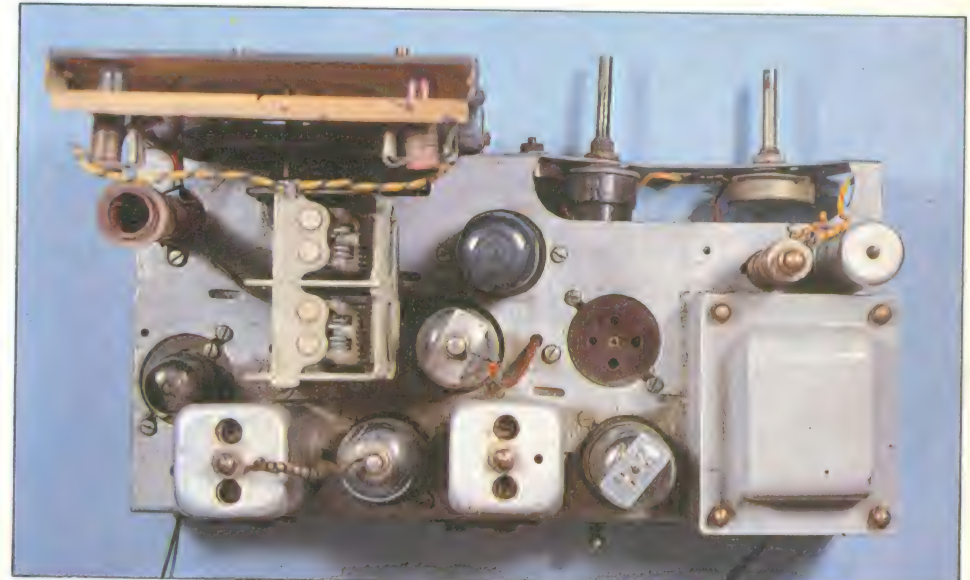
Un receptor de radio de AM, en su forma más elemental, se compone de las siguientes partes:



Receptor de radio de uno de los modelos empleados al comienzo de los años cincuenta. Es del tipo superheterodino y construido a base de válvulas o tubos de vacío, está preparado para recepción de Onda Media y Onda Corta.



Esquema eléctrico de un receptor de radio que presenta la máxima simplicidad. Este tipo de aparatos son los denominados de «galena».



Aspecto interno del chasis soporte en el receptor de radio anterior.

• Antena • Tierra • Circuito de sintonía • Circuito detector • Transductor de sonido.

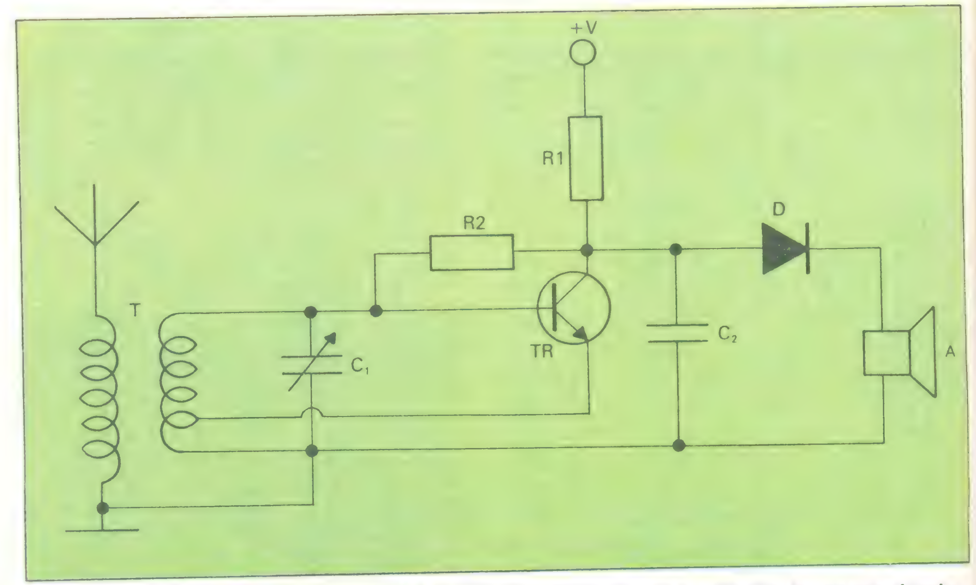
Un sencillo aparato compuesto únicamente por estos elementos es el denominado receptor de «galena», ya que en la primera época se empleó este material como base para el circuito detector. Este sistema aún sigue teniendo vigencia en la actualidad, sustituyendo el detector de «galena» por un diodo de germanio. Como puede observarse en el esquema, las señales de radio son captadas entre la antena y la tierra y enviadas al circuito de sintonía formado por la bobina L y el condensador variable C. Mediante este dispositivo se seleccionará la emisora deseada, ya que el circuito presentará una baja impedancia para el resto de las frecuencias, derivándolas hacia tierra. La señal obtenida llega al diodo detector D y se aplica al transductor formado por unos auriculares A.

Lo más destacable a considerar en este receptor es la ausencia de pasos amplificadores, por lo tanto no requiere ningún tipo de alimentación. Con un circuito de este tipo, de un diseño apropiado, pueden escucharse

casi todas las emisiones de radio, algunas con bastante nivel, siendo lo más importante la consecución de una buena antena que capte una señal elevada, ya que ésta es la única fuente de energía del aparato, así como disponer de una buena conexión a tierra.

Receptor regenerativo

Otro sistema, también bastante simple y que se emplea en algunos receptores, es el denominado a «reacción» o «regenerativo». Este circuito ya contiene como mínimo una etapa amplificadora y se basa en inducir parte de la energía de la salida a la entrada, de tal forma que se produce un reforzamiento muy alto de la señal amplificada, pudiendo llegarse a formar oscilaciones, como en el caso de un oscilador, que, como puede observarse en el esquema, responde a un diseño muy similar. En efecto, la señal recogida entre antena y tierra se aplica a un transformador T de radiofrecuencia cuyo secundario forma una etapa de sintonía junto con el condensador C1. De aquí llega la señal al transistor TR y en su colector se devuelve parte de la señal amplificada al secundario a través de C2. El resto de la señal se aplica al diodo detector D y de aquí a un pequeño altavoz A.
Este aparato necesita una cierta tensión de alimentación V destinada a la etapa amplificadora.



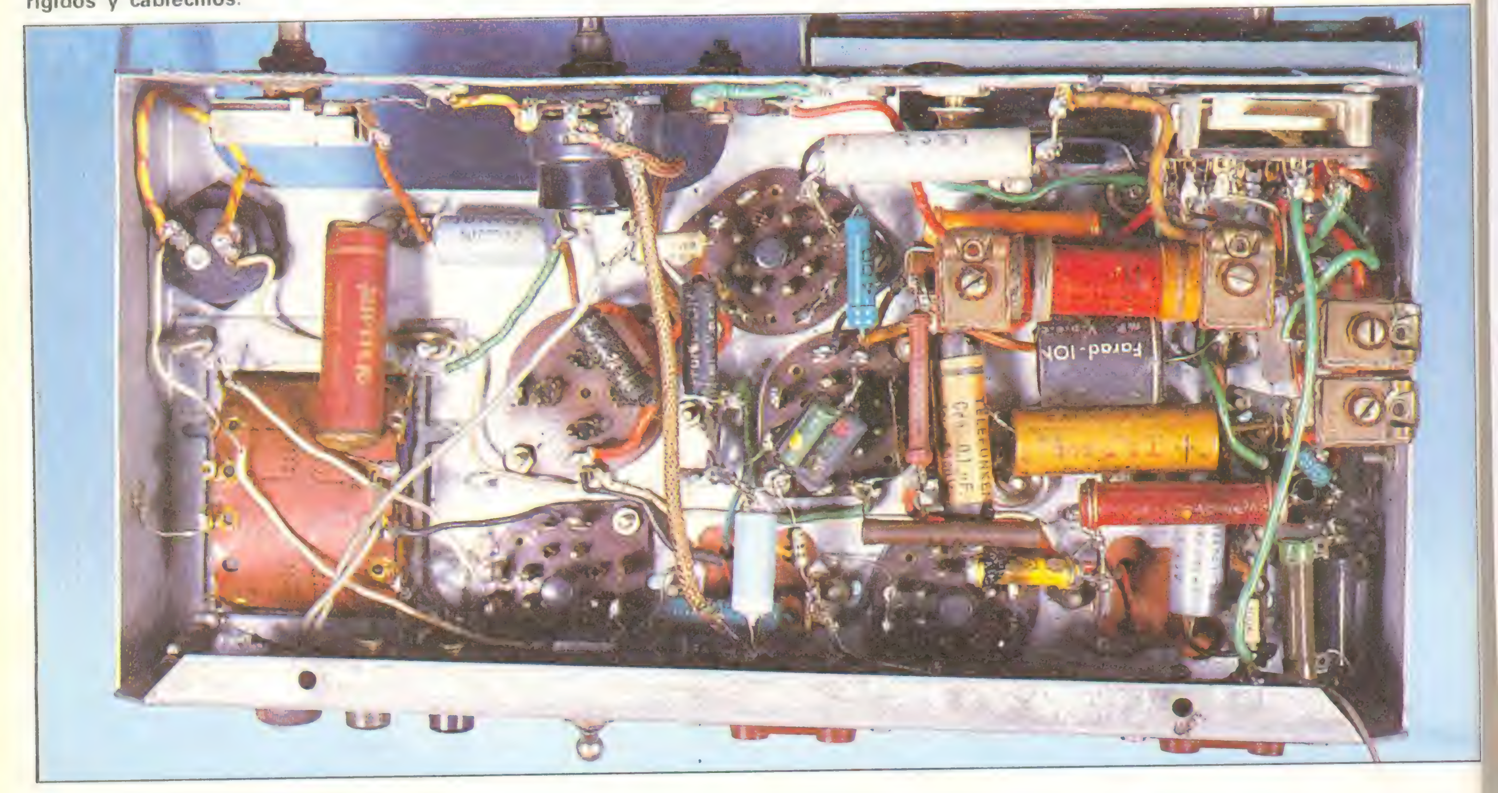
Esquema eléctrico de un receptor del tipo regenerativo, con un diseño bastante simple.

Sin embargo, como consecuencia del descubrimiento del sistema *heterodino,* todos los receptores de radio comerciales han pasado a emplear este sistema por sus elevadas ventajas de selectividad respecto a los otros.

Funcionamiento de un sintonizador

Debemos hacer una pequeña aclaración sobre la terminología que vamos a emplear. Muchas personas confunden los términos receptor y sintonizador. Un *sintonizador* («tuner», en inglés) es un equipo que permite recoger señales de radio del espacio y tratarlas adecuadamente para extraer la información contenida en ellas (la modulación). La señal de salida del sintonizador es de baja frecuencia (audible), aunque por lo general de un nivel bajo que no nos permite activar un altavoz para escucharla, por lo que requiere de la adición de un *amplificador* («amplifier», en inglés) que eleve su energía suficientemente. El conjunto

Vista de la cara inferior del chasis en la que se encuentran la gran mayoría de los componentes, interconexionados mediante conductores rígidos y cablecillos.



de sintonizador y amplificador suele conocerse como *receptor* o *sinto-amplificador* («receiver» en terminología inglesa), ya que el amplificador incorporado puede emplearse también para otros fines, como, por ejemplo, reproducir los sonidos recogidos por una cápsula fonográfica o una cabeza magnetofónica.

Aunque existen diversos tipos de sintonizadores que se han empleado y pueden emplearse, hoy día la casi totalidad de los receptores comercializados emplean un sintonizador del tipo denominado *superheterodino.* A continuación damos las etapas de que consta un sintonizador de este tipo, con una somera descripción de cada una de ellas:

— Etapa de radiofrecuencia (RF). Realiza una primera amplificación y selección de las señales de radio (de ahí su nombre) recogidas por la antena. Así se aumenta la sensibilidad del sintonizador, ya que permite hacer llegar a la etapa siguiente señales muy débiles en antena. No obstante, si las señales de radio son muy fuertes, puede resultar perjudicial darlas mayor ganancia (hasta el punto de distorsionarlas), por lo que se suele incorporar un mando que permite eliminar la amplificación de este paso, para así utilizarlo sólo con las señales más débiles. No es imprescindible su inclusión.

— Oscilador local. Genera una señal cuya frecuencia se varía con el mando de sintonía. Dicha frecuencia es siempre mayor que la de la señal que envía el paso anterior (o la antena) en una cantidad igual al de la llamada *frecuencia intermedia,* cuyo valor es elegido previamente por el fabricante. Aunque no hay normalización de dicho valor, los más usuales son los de 455 KHz para AM, y 10,7 MHz para FM.

— Cambiador de frecuencia. Se encarga de mezclar la señal proveniente de la antena (o del paso de RF cuando existe) con la que genera el oscilador local contenido en el propio sintonizador. Debido a su misión, también recibe el nombre de mezclador (en inglés, «mixer»). El proceso de la mezcla da como resultante dos señales, una de frecuencia igual a la *suma* de las respectivas frecuencias de la señales que mezcla, y otra de frecuencia igual a la *diferencia* de las mismas. La única señal que se aprovecha es la de frecuencia diferencia, que es precisamente la de frecuencia intermedia antes mencionada, por tener un valor comprendido entre la de radiofrecuencia que se sintoniza y la de audio o baja frecuencia, que es el último fin del receptor. El proceso llevado a cabo en esta etapa no varía para nada la información que lleva impresa la onda de radio (la modulación), sino tan sólo su frecuencia.

— Amplificador de frecuencia intermedia (FI). En esta etapa se ampli-

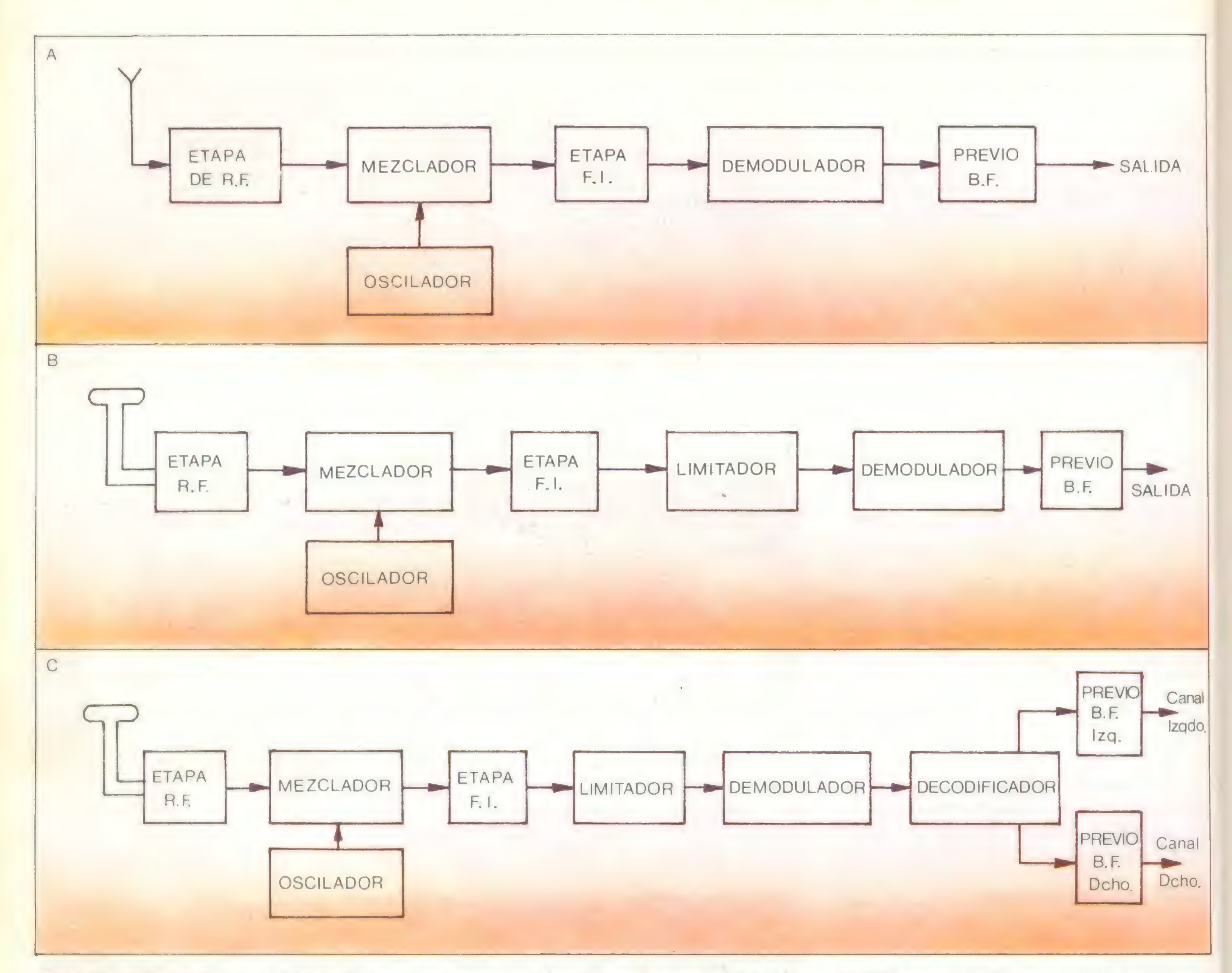




Un sintonizador permite sólo extraer la información de las ondas de radio (A). Un receptor consta de un sintonizador y de un amplificador, con el que podremos escuchar la señal obtenida de la onda de radio a un nivel suficientemente alto (B).



Los modernos circuitos sintonizadores realizan las funciones de las distintas etapas con ayuda de circuitos integrados, lo que permite reducir el tamaño físico de los mismos.



Esquema de bloques de funcionamiento de un receptor superheterodino para MA (A), para MF (B), y para MF estereofónica (C).

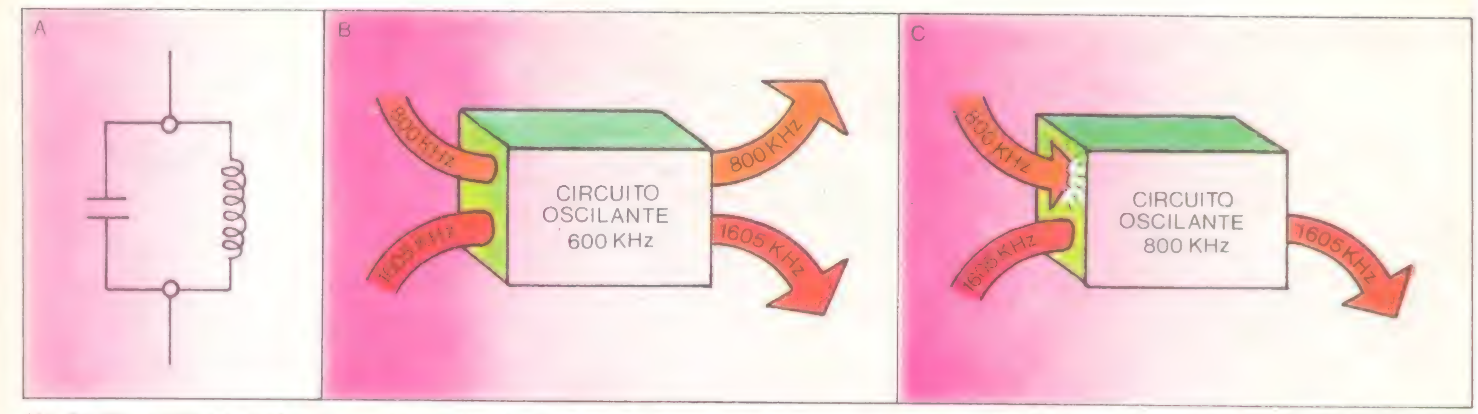
fica la señal hasta el nivel requerido por el paso siguiente. Este método tienen la ventaja de que cualquier señal de radio, de cualquier frecuencia, se convierte en otra cuya frecuencia es siempre la misma, siendo de más fácil diseño un amplificador que trabaje a una frecuencia fija, que no otro que tenga que trabajar en una amplia gama de frecuencias. Además, y precisamente por esa constancia en la frecuencia de trabajo de la etapa, la selectividad puede fijarse al valor deseado. Modernamente se utilizan para ello filtros cerámicos, que permiten el paso a su través de una banda de frecuencias de tan sólo 9 KHz (el ancho que ocupa una emisora), rechazando todas las demás frecuencias, y haciendo la selectividad de un valor muy elevado y constante para las señales de radio de cualquier frecuencia.

— Limitador. Esta etapa sólo existe en los sintonizadores de FM. Como ya sabemos, la modulación en una onda de FM va contenida en las variaciones de su frecuencia y *no* en las de su amplitud. La misión de esta etapa es la de recortar o «limitar» la amplitud de la señal, para eliminar cualquier variación que pudiera existir en dicha amplitud, y que podría dar lugar a distorsiones o mal funcionamiento del paso siguiente:

— Demodulador. Es el paso encargado de extraer la modulación contenida en la señal, ya sea en amplitud o en frecuencia. Llamado en un principio *detector,* pues permitía «detectar» la información contenida en la señal de radio (la modulación). Por lo general, el término «detector» suele aplicarse a demoduladores de AM, aunque no hay una nomenclatura universalmente aceptada en este sentido. Los demoduladores empleados para señales de FM pueden ser de varios tipos, entre los que cabe citar el detector de relación, el discriminador de fase, el detector de sintonía doble y el detector de coincidencia.

— Decodificador estéreo. Esta etapa sólo la llevan los sintonizadores preparados para recibir señales de FM en estéreo. Es capaz de separar las informaciones relativas a cada uno de los dos canales (derecho e izquierdo) de una transmisión estereofónica. Si la señal recibida *no* es estéreo, esta etapa se encarga de enviar a ambos canales la misma señal monofónica que recibe.

— Circuitos auxiliares. Aunque no son imprescindibles para el funcionamiento del sintonizador, mejoran las características del mismo, o facilitan su manejo. Existen gran cantidad de ellos en la práctica, aunque ahora sólo nos fijaremos en aquellos que incor-



Un circuito oscilante está compuesto por una bobina y un condensador conectados en paralelo (A). Deja pasar a su través con facilidad las señales de frecuencia distinta a la suya de resonancia propia (B), pero impide el paso de aquellas cuya frecuencia coincide con la suya propia (C).

poran la totalidad de los equipos, y que son:

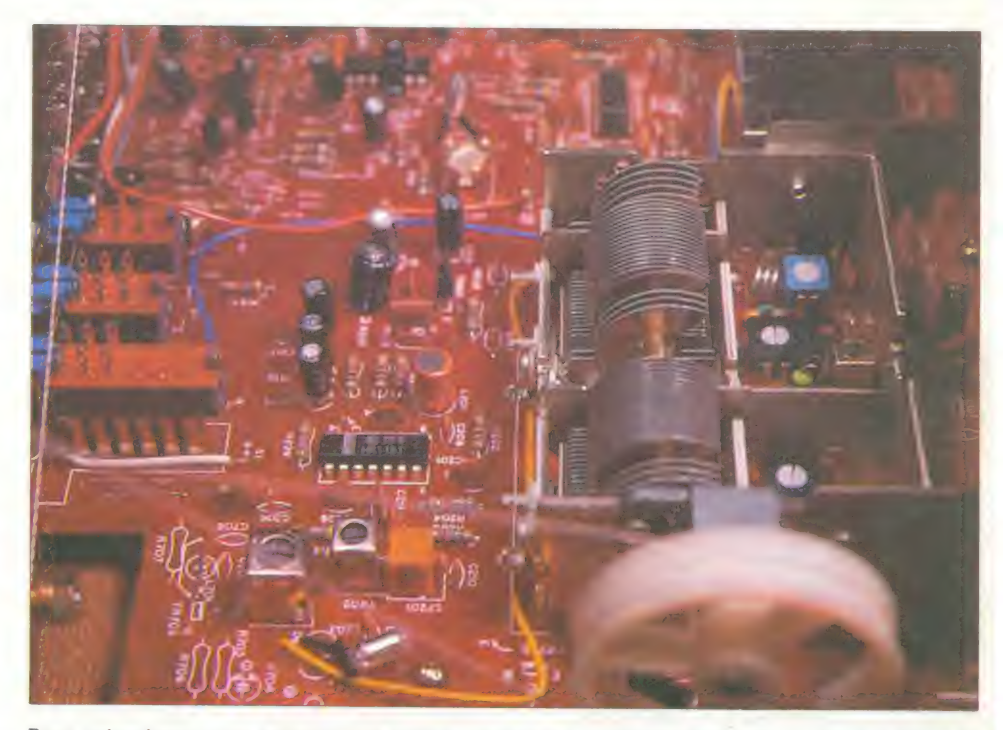
1. Control automático de ganancia. Varía la amplificación global dada a la señal de antena de acuerdo con su valor, de manera que a la salida se obtenga siempre el mismo nivel, independientemente de lo fuerte o débil que sea la señal recibida, permitiendo escuchar cualquier emisora al mismo volumen. Suele abreviarse como C. A. G. (en inglés como A. G. C., de «Automatic Gain Control»), y también suele denominarse control automático de sensibilidad (C. A. S.) o de volumen (C. A. V.).
2. Control automático de frecuencia. Permite mantener centrada la sintonía sobre una emisora determinada, aunque no se encuentre perfectamente sintonizada con el mando correspondiente. El propio sintonizador efectúa las correcciones precisas para hacer la sintonización correcta. Aunque existen sistemas para AM y FM, habitualmente sólo se encuentra para esta última. Se suele abreviar como C. A. F. (en inglés como A. F. C., de «Automatic Frequency Control»).
3. Preamplificador. Por lo general se suele incorporar una etapa de amplificación en baja frecuencia de la modulación obtenida, bien para poder regular el nivel de salida (con el correspondiente control), bien para adaptar la impedancia de salida, o para ambos objetivos al tiempo.

El mando de sintonía

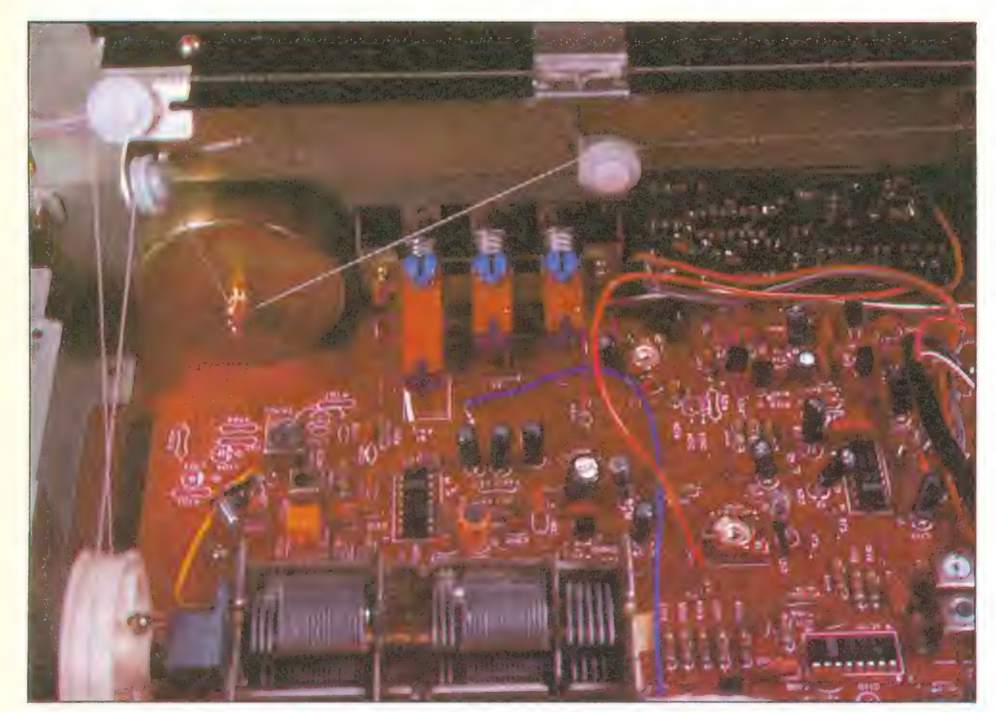
Podemos asegurar que es el más importante del sintonizador, ya que nos permite seleccionar el programa deseado. La sintonía de la emisora deseada se logra con ayuda de un circuito muy simple, constituido por un condensador y una bobina en paralelo. Este circuito presenta una característica muy interesante para nosotros: es capaz de «resonar» a una frecuencia determinada, de forma que permite pasar a su través *todas* las señales que le enviemos, *excepto* aquellas cuya frecuencia sea igual a la de resonancia propia del circuito. De esta forma, es capaz de seleccionar *una* frecuencia determinada (una emisora) de entre todas las señales que cruzan el espacio.

La frecuencia de resonancia de dicho circuito (llamado *circuito resonante, oscilante* y a veces *circuito tanque*) depende de los valores de la bobina y el condensador empleados. Dicho de otra forma, podremos elegir *una* frecuencia de resonancia eligiendo adecuadamente sus valores. Como un sintonizador tiene que estar preparado para recibir señales de frecuencia distintas (las emisoras en funcionamiento), podemos dejar el valor de uno de los componentes fijo, y variar el del otro; de esta forma variaremos la frecuencia de resonancia del conjunto, y podremos seleccionar *cualquier* emisora de radio. Así de sencillo.

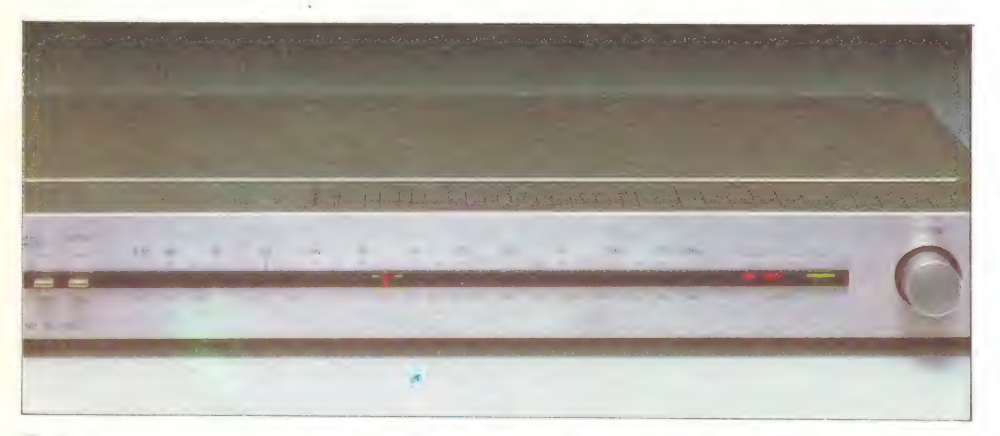
Lo que se hace en la gran mayoría de los casos es emplear una bobina de valor fijo, y un condensador de valor variable, aunque últimamente se están empleando otros métodos, e incluso una filosofía de funcionamiento distinta, como ya veremos. Clásicamente, como ya decimos, se ha empleado el llamado *condensador variable*, que consiste en una serie de placas fijas enfrentadas por otras movidas por un eje; al girar el eje, las placas



Para seleccionar una emisora, se utiliza un circuito oscilante formado por una bobina de valor fijo y un condensador variable. Ajustando el valor de dicho condensador, puede recibirse la emisora deseada.



Cuando movemos el mando de sintonía exterior de un receptor, ponemos en marcha un mecanismo interno cuyo fin es modificar el valor del condensador variable incorporado al mismo.



El dial de nuestro receptor nos dice la emisora que tenemos seleccionada en un instante determinado. Para ello se incorpora una escala graduada. En receptores de más de una banda se incluye una escala para cada una. Sólo debe leerse sobre la escala correspondiente a la banda seleccionada.

móviles se introducen entre las fijas (sin contacto físico), variando la capacidad del sistema.

El funcionamiento, desde el exterior, es ya fácil de adivinar. El mando de sintonía mueve, por medio de una serie de cuerdas, poleas y volante, el eje del condensador variable, permitiendo así que el circuito resonante cambie su frecuencia propia, seleccionando la emisora deseada. Es costumbre fijar en la misma cuerda que mueve el sistema una *aguja* o indicador que se mueve sobre una *escala* graduada sobre las que se marcan las distintas emisoras seleccionadas. El conjunto de la aguja y la escala es lo que se conoce con el nombre de *dial* del receptor.

Puesto que para cada una de las posiciones indicadas por la aguja sobre la escala se obtiene un valor determinado de frecuencia de resonancia. más que las emisoras, lo que suele marcarse en dicha escala son las distintas frecuencias que se obtienen; así, aunque una emisora determinada cambie de frecuencia de transmisión por razones técnicas, porque la Administración estatal así lo requiera, o porque el C. C. I. R. así lo aconseje (lo que ocasionalmente puede ocurrir), nos resultará fácil volver a encontrarla buscando sobre la escala graduada del dial la nueva frecuencia de transmisión.

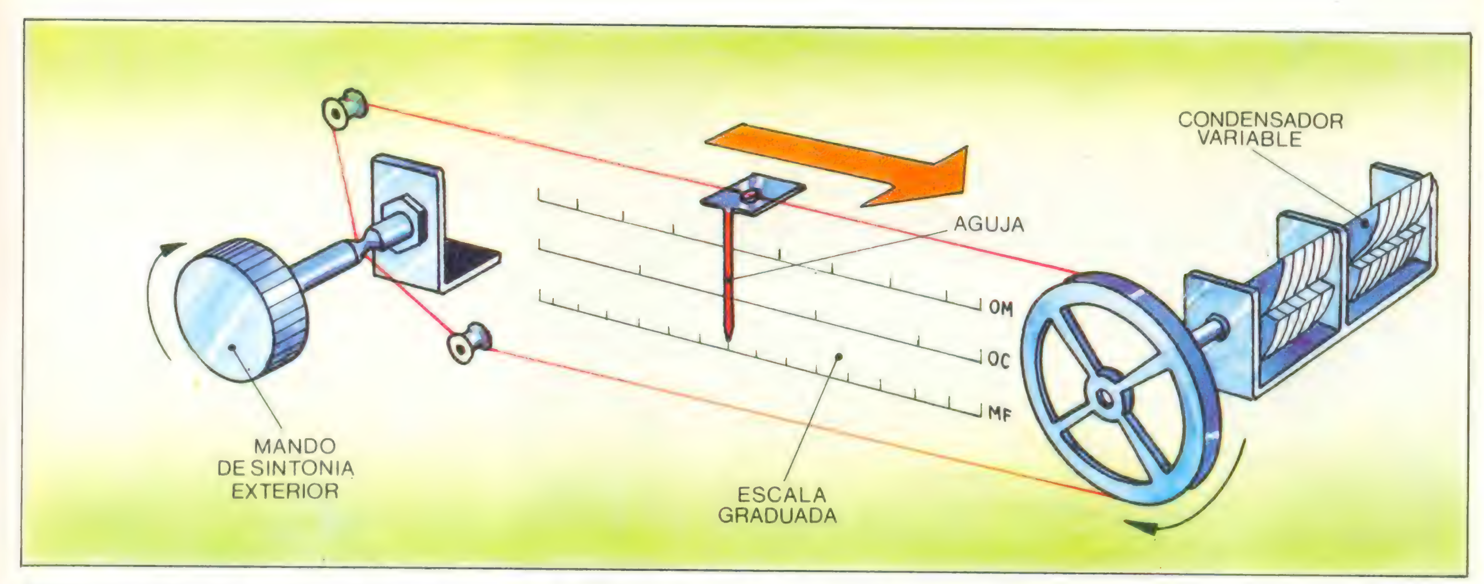
En los receptores superheterodinos, el sistema se complica un poco más, ya que suele ponerse un circuito sintonizado en la etapa de RF, otro en el cambiador de frecuencia (para mejorar la selectividad) y un tercero en el oscilador local (para generar la señal de la frecuencia precisa). Necesitaríamos *tres* mandos para sintonizar cada emisora. Como esto no es práctico, lo que se hace es mover con un eje común *tres* condensadores variables. El conjunto de las tres secciones se denomina *tándem*. El dial sigue mostrando la frecuencia seleccionada, que será la sintonizada por las dos primeras secciones del tándem, pero no por la tercera (la correspondiente al oscilador), que, como ya dijimos, se hace funcionar a una frecuencia superior, e igual a la suma de la seleccionada y la frecuencia intermedia.

En la práctica, no resulta factible poder sintonizar cualquier emisora en cualquier banda de radiodifusión con un solo conjunto de bobinas y un solo tándem. Por eso se recurre a emplear un juego de bobinas de distinto valor para cada una de las bandas, en conjunción con el mismo tándem. Cuando seleccionamos en el panel frontal de nuestro sintonizador la banda deseada, lo que hacemos es precisamente conectar el juego de bobinas preparado para esa banda. Como el tándem y el conjunto mecánico sigue siendo el mismo, lo que se hace es incluir en éste una escala graduada por cada una de las bandas que podamos elegir; por lo demás, el funcionamiento es idéntico al ya indicado.

La sintonía electrónica

El objeto final del tándem es, como ya hemos dicho, hacer variar la frecuencia de resonancia por medio de la variación de su capacidad. Esta variación se consigue por medios mecánicos. También puede conseguirse con unos componentes electrónicos llamados *diodos de capacidad variable* o *«varicap»* (del inglés *«variable capacity»*). Cuando se les aplica una tensión adecuada, presentan una capacidad importante entre sus terminales, capacidad que puede hacerse variar con la tensión inversa aplicada a los mismos. Para los efectos, hemos construido un condensador variable de estado sólido, sin partes mecánicas en movimiento, que puede ser origen de distintos problemas.

Para conseguir esta variación de capacidad, hemos de hacer variar la tensión aplicada a sus terminales. Para ello suele emplearse un potenciómetro. Como nuestros lectores recordarán, un *potenciómetro* es, en esencia,

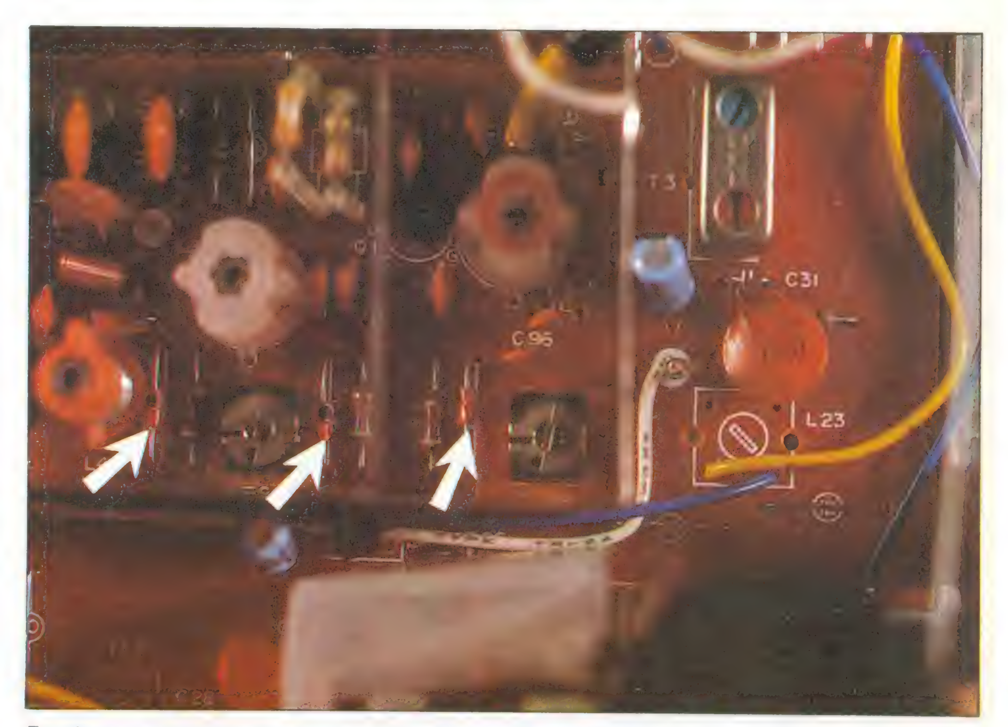


Sistema mecánico de sintonía. Al girar el mando de sintonía, se mueve la aguja del dial, y se varía el valor del condensador que forma parte del circuito oscilante.

una resistencia variable. Si entre sus extremos se aplica una tensión, moviendo el cursor, aparecerá sobre el mismo una tensión variable. En los sintonizadores que emplean estos componentes para la selección de emisoras, el mando de sintonía lo que mueve es el eje de un potenciómetro, y con ello el cursor, de forma que a los distintos diodos «varicap» (tantos diodos como secciones tuviera el tándem) se hace llegar una tensión que puede hacerse variar con dicho mando de sintonía.

Este tipo de componentes permitió dar paso a los primeros diales no mecánicos, como vamos a ver. Puesto que la frecuencia de sintonía se logra ahora haciendo variar la tensión aplicada a los diodos «varicap», existe una relación entre dicha tensión y la frecuencia de sintonía. Si dicha tensión la llevamos a un voltímetro (medidor de tensiones), sus indicaciones nos señalarán, directamente, las frecuencias de sintonía logradas; es decir, habremos conseguido construir un «dial electrónico», en el que pueden hacerse desaparecer todas las poleas y cuerdas de arrastre necesarias para mover la aguja del dial, con lo que se simplifica bastante la «arquitectura» interna del sintonizador, aparte de la reducción del tamaño que puede conseguirse.

La introducción de los diodos «varicap» también permitió construir los primeros sistemas de memoria sencillos. El sistema más corriente empleaba un conmutador de pulsadores con cuantas teclas se deseara. Cada vez que se pulsaba una tecla, se ponía en el circuito de la «tensión de sintonía» un potenciómetro. Se tenía acceso desde el exterior a cada uno de estos potenciómetros (tantos como teclas tuviera el conmutador), de manera que podía sintonizarse cualquier emisora con cualquiera de ellos. Cuando se pulsaba una tecla determinada, el equipo sintonizaba automáticamente aquella emisora que «memorizaba» el potenciómetro correspondiente.



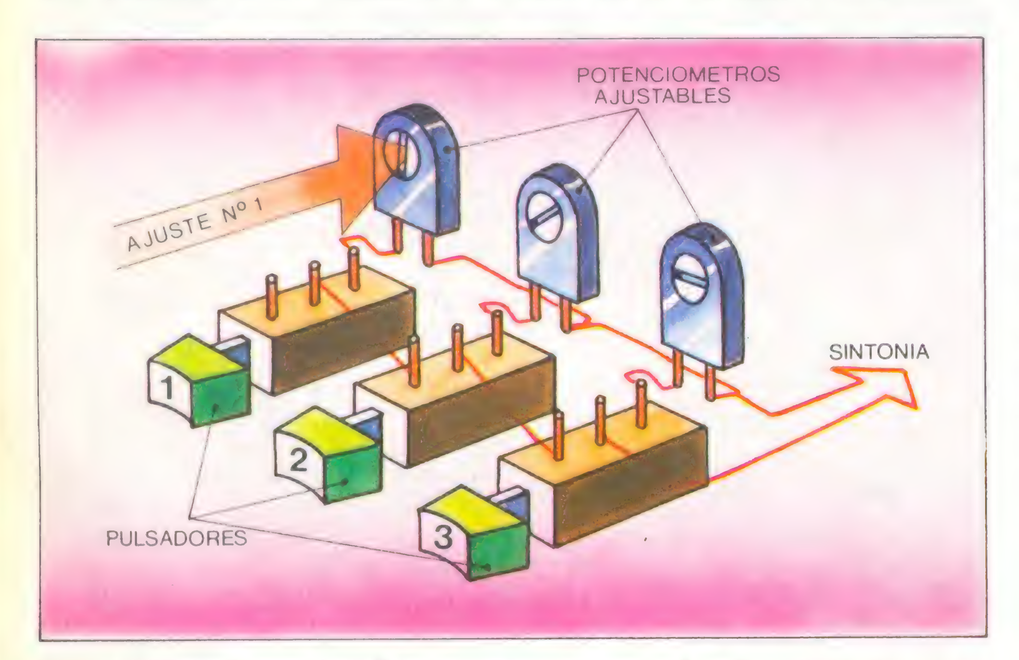
En algunos sintonizadores se sustituye el condensador variable por diodos «varicap»; en este caso, el mando de sintonía lo que mueve es el eje de un potenciómetro, que llevará la tensión adecuada para el funcionamiento de los diodos.

Estos métodos de sintonía no son puramente electrónicos, pues aunque los componentes empleados sí lo son en su totalidad, aún se sigue necesitando un sistema mecánico de desmultiplicación entre el mando de sintonía exterior al aparato y el o los potenciómetros requeridos. Hoy día se emplean con gran profusión, al igual que los sistemas clásicos más arriba comentados. Sin embargo, la tendencia es hacia sistemas que no empleen ningún componente mecánico, que pueden conseguirse con la ayuda de la moderna tecnología, como veremos más adelante.

Ya en varias ocasiones hemos mencionado uno de los parámetros más importantes de un sintonizador: la *sensibilidad.* Podríamos definirla como



Los sintonizadores que incorporan diodos «varicap» permiten incorporar «diales electrónicos», consistentes en unos medidores de la tensión que se hace llegar a dichos diodos.



Sistema de memoria mecánica. Al pulsar una tecla determinada, se incluye en el circuito de sintonía un potenciómetro con el que puede sintonizarse la emisora deseada. Posteriormente, siempre que se pulse dicha tecla, se recibirá la emisora seleccionada con dicho potenciómetro.

aquel valor de señal a la entrada del sintonizador que produce a su salida un determinado efecto. Antiguamente, el «efecto» que se esperaba era una determinada potencia de salida en el altavoz (por ejemplo, 0,1 MV de señal en antena, producían 50 MW de salida en el altavoz). Hoy día se persigue más la «calidad» que la «cantidad». Por ejemplo, de ñada nos serviría que un receptor nos diera, no ya 50 MW, sino 5 W de potencia a su salida («cantidad»), si el sonido fuese irreconocible porque fuera mezclado con gran cantidad de ruido («calidad»).

Así, pues, en la actualidad la sensibilidad de un sintonizador es aquel valor de señal en la entrada del mismo que permite tener a su salida una relación señal/ruido de un valor mínimo, independientemente del nivel de señal en sí. La señal de entrada deberá estar, naturalmente, modulada; existe un criterio general, que es el de emplear una señal modulada al 30 % con un tono de 400 Hz (hablamos de AM; para FM ya lo veremos en el lugar adecuado). En lo que ya están más divididas las opiniones es en la relación señal/ruido a adoptar. Así, hay fabricantes que opinan que con un valor de 6 dB ya se hace inteligible la señal (aunque resulte de dudosa calidad), aunque suele ser un valor aceptado el de 20 dB como valor mínimo para dicha relación.

De cualquier forma, cuanto más baja sea la cifra de sensibilidad, más débiles emisoras será capaz de captar, y mejor será nuestro sintonizador. Usualmente, la sensibilidad se da en microvoltios (millonésimas de voltio), y los valores encontrados usualmente hoy día caen casi siempre por debajo de los 50 μv. Cuando el sintonizador va equipado con una antena interna de ferrita, suele especificarse el valor del campo eléctrico (junto con el magnético, uno de los dos componentes de la onda electromagnética) que producirá el mismo efecto reseñado anteriormente; cuanto más baja sea esta cifra, igualmente más sensible resulta el sintonizador. Cifras por debajo de 400 μv/m son usuales.

Ya sabemos la señal más débil que nuestro sintonizador es capaz de recibir con una apreciable calidad. Pero el espacio está continuamente ocupado por miles de radiaciones distintas. ¿Cómo distinguir entre unas y otras? Para esto nos sirve el mando de *sintonía* (en inglés «tuning»), que hace variar internamente una serie de circuitos que son capaces de «reconocer» una emisora determinada.

Ya esbozamos anteriormente que uno de los problemas más serios con el que se enfrentaban las Administraciones estatales era el de poder dar cabida en las bandas asignadas para ello a todos los posibles usuarios de las mismas (esto es, las emisoras que desean transmitir sus programas). Por ello se estableció, como ya hemos dicho, una separación normalizada entre emisoras de 9 KHz (para AM), de forma que cada una de ellas sólo puede ocupar aquel espacio de banda que esté a 4,5 KHz por encima de la portadora, y a 4,5 KHz por debajo de la misma. Fijado el valor de la frecuencia de portadora, está perfectamente delimitado el espacio que una emisora determinada va a ocupar. El salirse de él, supone meterse en el espacio ocupado por otra emisora que se encuentre en un canal adyacente y, por tanto, interferencias a la misma.

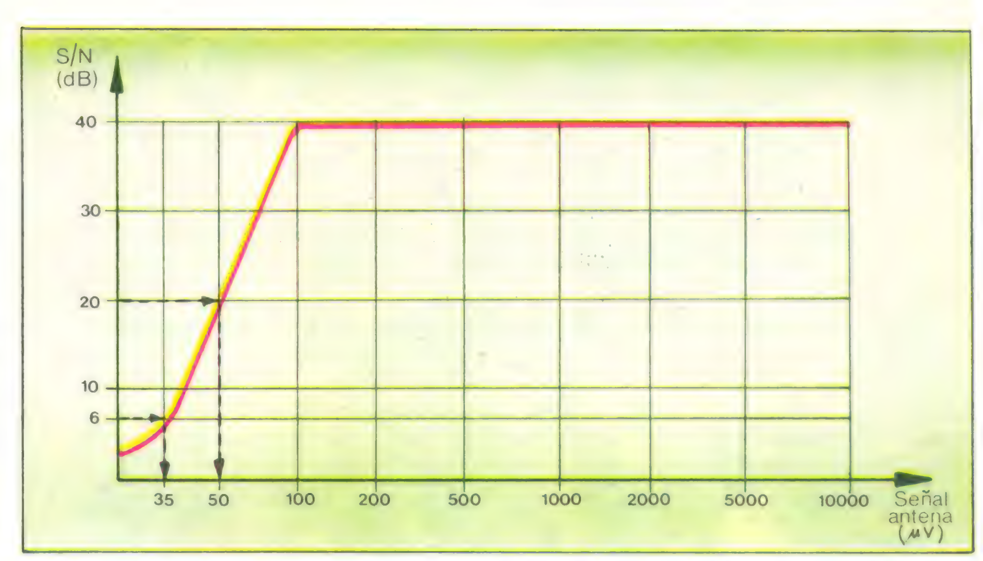
Las normas del C. C. I. R. especifican claramente todos estos aspectos de cara a los transmisores. Pero ¿y los sintonizadores? Idealmente, deberían

tener características similares. Pero mientras que un transmisor de radiodifusión va a estar funcionando siempre en la misma frecuencia, un sintonizador está normalmente preparado para seleccionar cualquier emisión de cualquier banda de radiodifusión, con lo que evidentemente la resolución del problema no es tan sencilla.

Para verlo más claro, digamos que en este sentido, como en algunos otros ya comentados, para un sintonizador lo que cuenta es el ancho de banda *relativo;* es decir, el real (que siempre va a ser de 9 KHz en AM), comparado con la frecuencia de trabajo (la de la portadora). Así, para el extremo bajo de la banda de OL, el ancho relativo es del 6 % (9 KHz: 150 KHz = 6 %), mientras que para el extremo alto de la banda de OM es del 0,5 %; no digamos ya para la banda de 16 metros en OC (unos 19 MHz), en que dicho ancho de banda relativo es de tan sólo el 0,05 %. Parece evidente que al sintonizador le resultará muchísimo más fácil seleccionar una emisora en OL que en OC, debido a la mayor «separación aparente» que las primeras tienen.

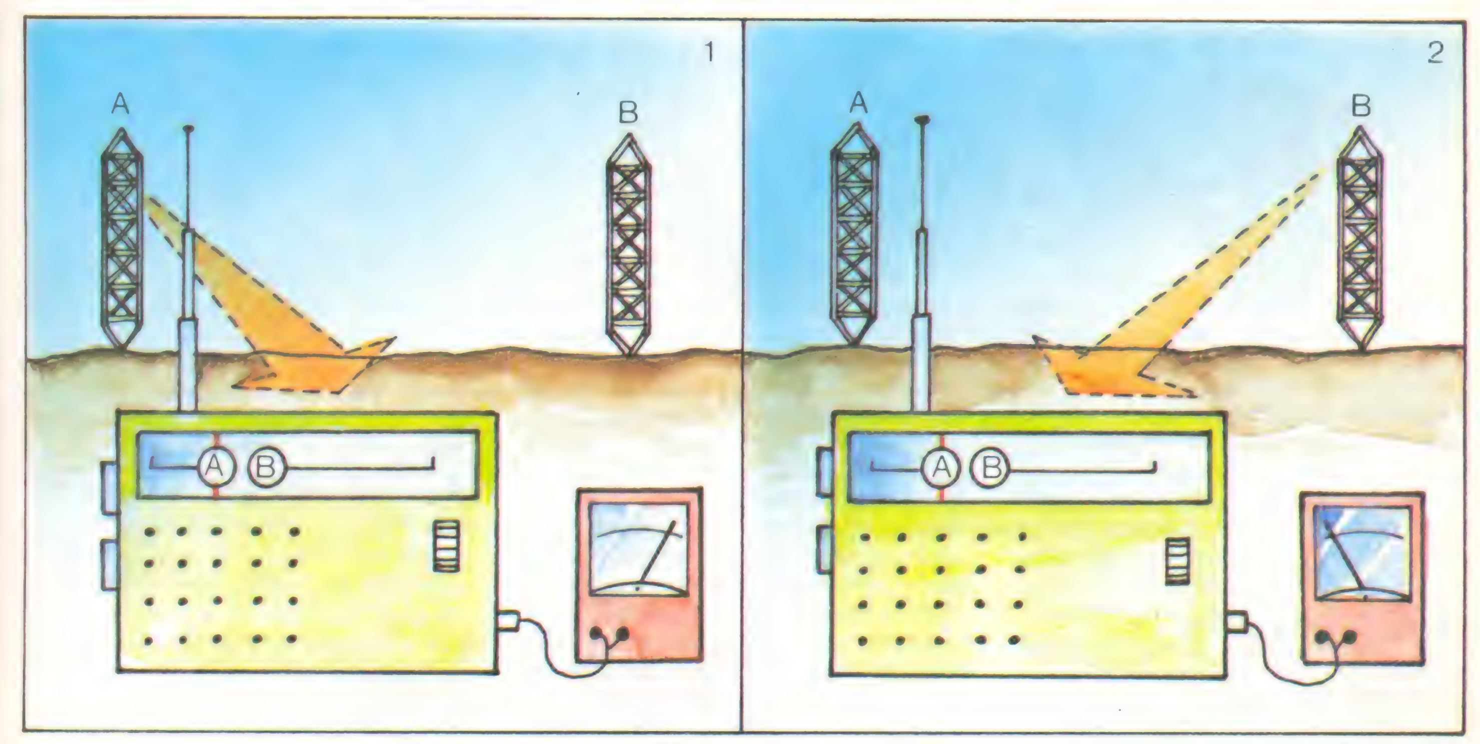
Surge así el concepto de *selectividad,* que podríamos decir que es la mayor o menor habilidad que tiene un sintonizador para poder distinguir entre la emisora que sintonizamos y otras que se encuentran próximas (a no menos de ± 9 KHz), que son las que más pueden interferir. Ya tenemos el concepto de qué es la selectividad. Pero ¿cómo podemos medirla? ¿Cómo podemos expresarla en cifras para poder comparar las distintas selectividades de varios sintonizadores? De una forma muy sencilla.

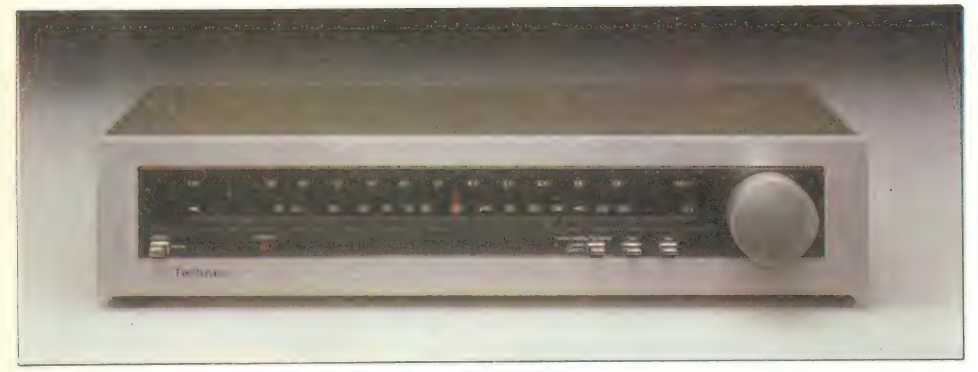
Supongamos que queremos escuchar la emisora A. Muy próxima a ella (a 9 KHz) está la emisora B. Ambas tienen la misma potencia, por lo que a nuestro sintonizador llegará la misma señal desde ambas. Con el sintonizador en la emisora A medimos el nivel que nos da a la salida dicha emisora. Con el sintonizador también en A, medimos ahora el nivel que nos da a la salida la emisora B. Lógicamente, la segunda medida debe dar un valor mucho más pequeño que la primera, si nuestro sintonizador es selectivo. El cociente entre las dos medidas nos da la selectividad, que suele expresarse en decibelios. Por ejemplo, una cifra de selectividad de 40 dB, significa que la señal de salida que da la emisora B



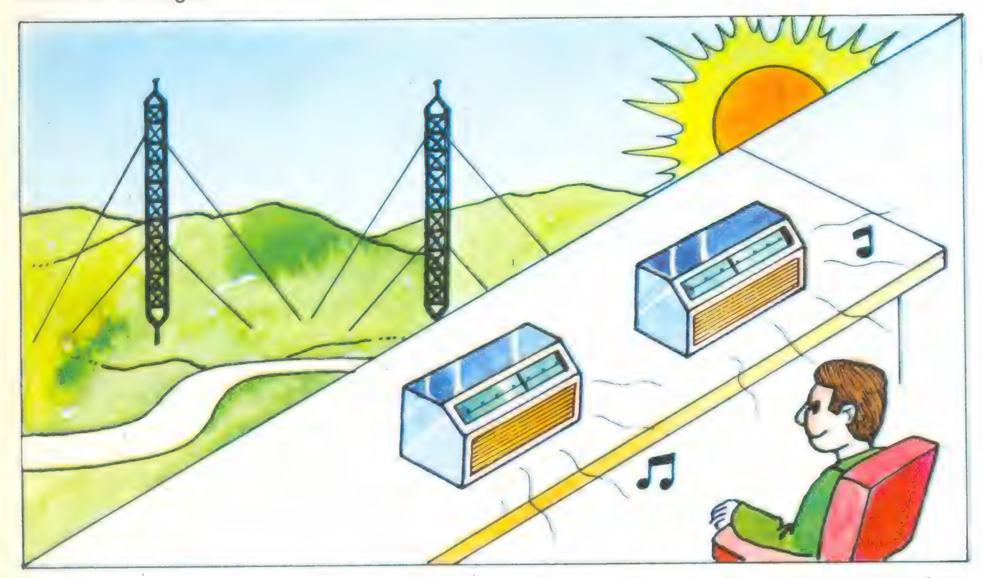
La sensibilidad de un sintonizador nos da idea del nivel de señal a la entrada que nos producirá una cierta calidad a la salida. Para niveles muy bajos, la calidad obtenida es muy pobre (relación S/N baja), mientras que por encima de un cierto nivel de entrada, la calidad alcanza una cota que se hace constante, debido a las propias características de los circuitos.

Método de medida de la selectividad. Se buscan dos emisoras separadas 9 KHz que proporcionen la misma señal al receptor. Se mide la señal de A, cuando se sintoniza A (1). Luego se mide la señal B cuando se sintoniza A (2). El cociente entre ambos valores, expresado en decibelios, nos da la selectividad.

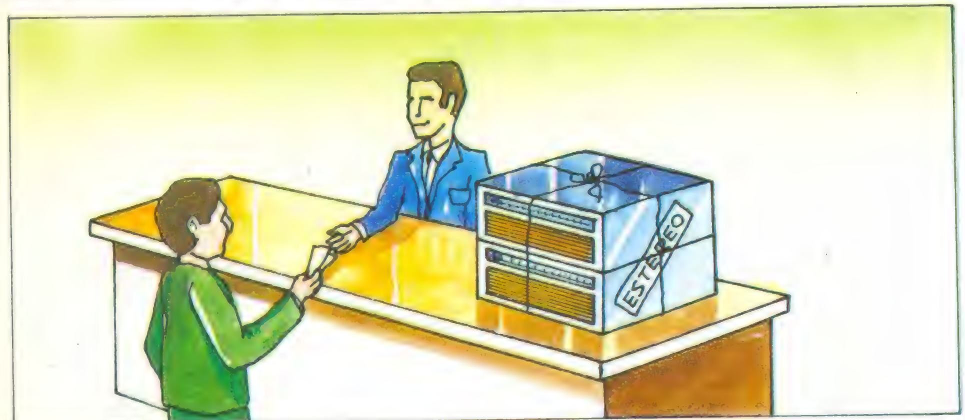




Los sintonizadores estereofónicos constituyen hoy día un eslabón más de la cadena de audio en el hogar.



Las primeras transmisiones estereofónicas se realizaron utilizando dos emisores completamente separados. El aficionado debía disponer igualmente de dos receptores, que sintonizaba adecuadamente para escuchar el programa en estereofonía.



Un grave inconveniente de los sistemas de estereofonía verdadera es el gasto que supone para el aficionado, ya que ha de hacerse con dos receptores completos.

cuando se sintoniza la A, es 100 veces menor (40 dB) que la señal dada por la A. Las cifras normales encontradas en los sintonizadores comerciales modernos superan fácilmente los 40 dB. Cuanto más alta sea esta cifra, más selectivo será el sintonizador.

Radioestereofonía

Cualquier sistema que maneje una señal estereofónica ha de constar necesariamente de dos canales de reproducción independientes. En una cápsula fonográfica se aprovechan los movimientos de la aguja sobre dos ejes perpendiculares; en un magnetófono se disponen dos pistas separadas sobre la cinta. Pero ¿y en la radio? La respuesta que da paso a la solución más simple es clara: debe disponerse de un doble canal de comunicación, lo que implica dos transmisores y dos receptores.

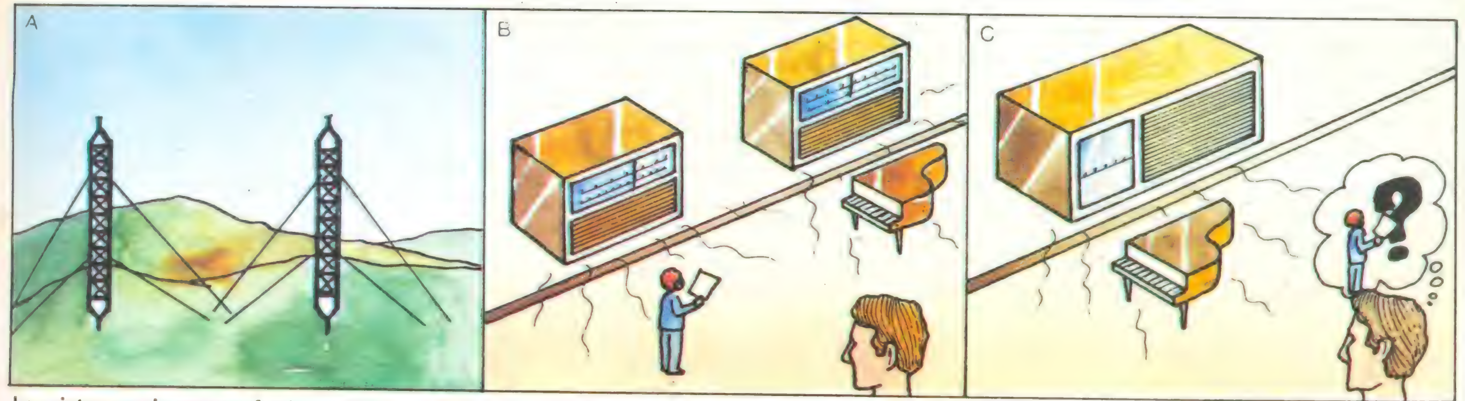
Las soluciones más simples no son siempre las más convenientes; sólo debemos fijarnos en el caso que comentamos: la resolución de la radioestereofonía pasa por *doblar* toda la cadena de comunicación. Con esta idea se hicieron distintos experimentos, empleando para ello dos transmisores idénticos (salvo en el canal de frecuencia utilizado), tanto en AM como en FM.

Naturalmente, el oyente que deseaba escuchar los programas en estereofonía debía adquirir dos receptores (que tenían que ser iguales, para que no hubiera diferencia de calidad entre canales); cada uno de ellos se sintonizaba sobre una de las frecuencias de transmisión, cerrando así la cadena estereofónica. Estos sistemas eran llamados de *estereofonía verdadera,* nombre que en verdad merecían.

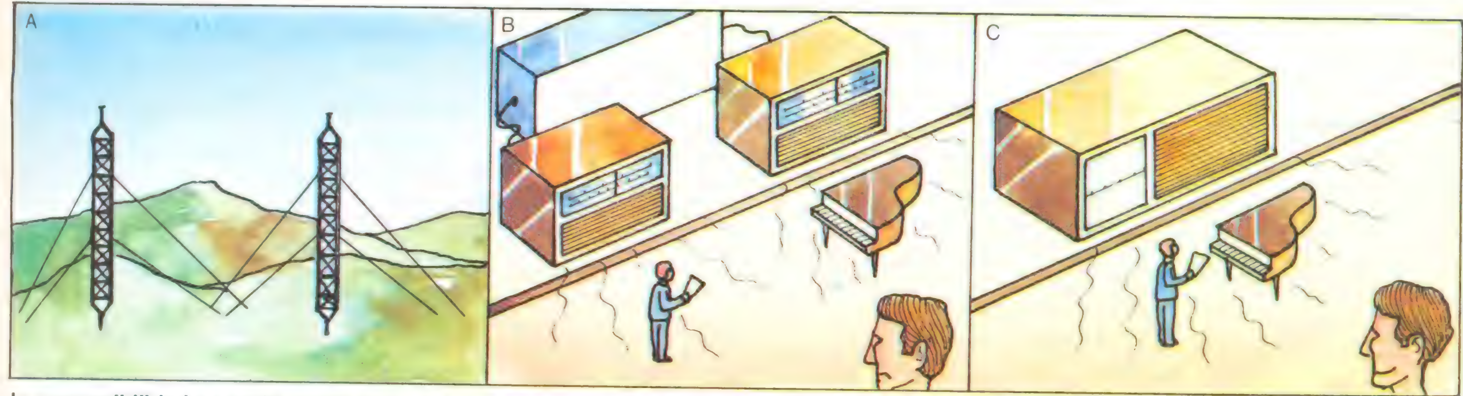
Este método tenía dos inconvenientes principales: el primero era el tremendo coste que suponía tanto para el aficionado a la estereofonía como para la emisora que así transmitiera; en segundo lugar, no era «compatible» con los sistemas ya existentes. El término *compatible* significa que cualquier nuevo método empleado debe poder ser utilizado por los receptores existentes, de forma que se obtenga de ellos, con el nuevo método, igual respuesta que si la transmisión hubiera sido realizada con el método anteriormente empleado. La compatibilidad falla, en este caso, porque con un solo receptor de radio sólo podría captarse *uno* de los dos canales, perdiéndose la información transmitida por el otro.

Existe, además, un tercer inconveniente: si *todas* las emisoras desearan transmitir en estereofonía, el número de canales asignados se doblaría. En bandas con problemas de espacio (como puede ser la OM) significaría la reducción a la mitad del número de emisoras transmitiendo, lo que resultaría un grave inconveniente. Por este motivo, y además por razones de calidad, parece evidente que conviene dejar la radioestereofonía para la banda de FM, donde no existen, en general, grandes problemas de espacio.

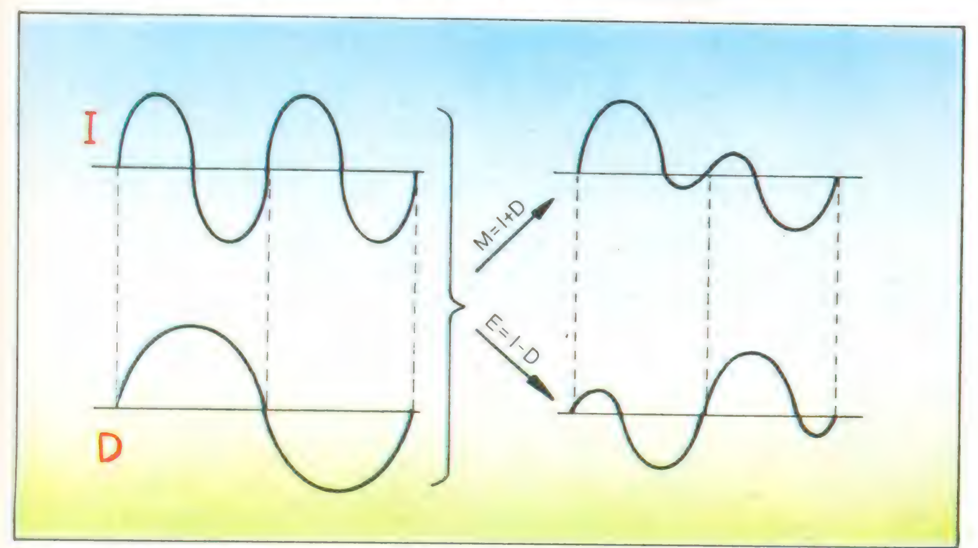
Por las razones antes expuestas, se estudiaron diversos sistemas que utilizaban *un* solo transmisor y *un* solo receptor que, adecuadamente preparado, era capaz de dar dos señales distintas a su salida. Todos los sistemas puestos a prueba se basaban en el hecho de considerar dos señales separadas, una por canal, y que para



Los sistemas de estereofonía verdadera no eran compatibles, ya que cada emisora transmitía el programa correspondiente a cada uno de los canales (A). El aficionado preparado oía el programa en estereofonía (B), aunque otro que dispusiera de un solo receptor tenía que conformarse con escuchar uno de los canales (C).



La compatibilidad se podía resolver de una forma sencilla. Para ello, tan sólo se debía transmitir por una de las emisoras la señal suma de ambos canales, mientras que la otra emisora se encargaría de enviar otra señal para poder suministrar la información estéreo. Esta solución complicaba las cosas al aficionado que quería recibir en estéreo.



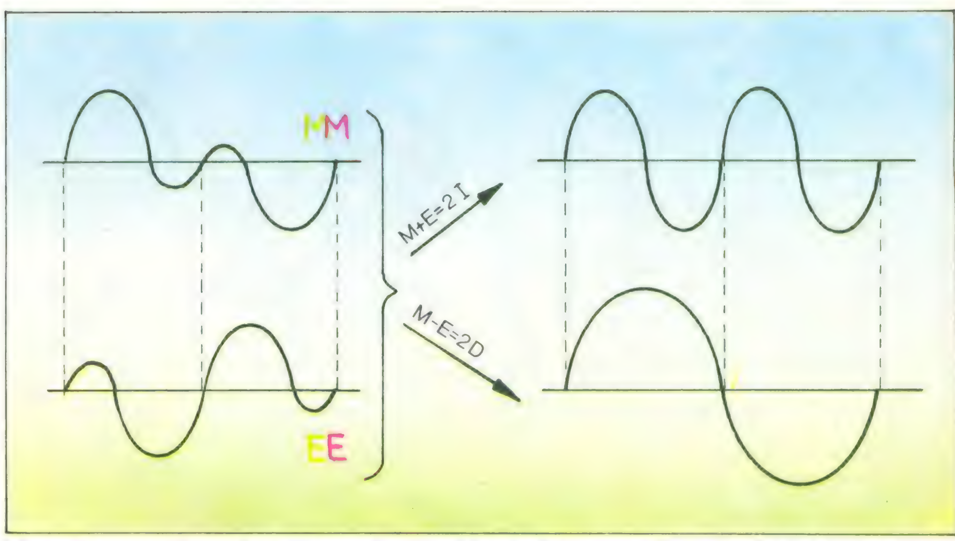
A partir de las señales de cada canal (I y D) es fácil formar otras dos nuevas: la M, como suma de canales (M = I + D), y la E, como diferencia de los mismos (E = I − D).

simplificar llamaremos I (de *I*zquierdo) y D (de *D*erecho).
Parece claro que un aparato monofónico trabaja con la señal *suma* de ambos canales (I + D), esto es, una señal única que lleva la información de ambos lados. La condición de compatibilidad se cumplirá si las emisoras en estereofonía transmiten dicha señal suma (I + D), puesto que los receptores monofónicos recibirán la información completa de ambos canales. Así, pues, podemos llamar a esta señal M (de *M*onofónica), esto es: M = I + D. Por otro lado, el receptor estereofónico no tiene suficiente con esta señal, puesto que ambos canales van mezclados. Debemos suministrarle otra información más que le permita separarlos, y que al mismo tiempo pase desapercibida al receptor normal monofónico, para cumplir la condición de compatibilidad. Esta nueva información suele ser casi siempre la señal *diferencia* de ambos canales (I − D), que llamaremos E (de *E*stereofónica), de forma que: E = I − D. Resulta sencillo comprobar que la combinación adecuada de las señales M y E nos restituye la información de cada uno de los canales. Así, la suma de M y E nos da el canal izquierdo, mientras que su diferencia nos da el canal derecho. Algún lector se preguntará si hay necesidad de complicar tanto la cosa: si, de cualquier forma, hay que transmitir dos señales, ¿por qué no se transmiten directamente cada uno de los dos canales? La respuesta es clara: caeríamos en la incompatibilidad del sistema con los receptores ya existentes, que recibirían *un* solo canal (el derecho o el izquierdo). Estos sistemas se denominan de *estereofonía codificada*.
Ya hemos dicho que la señal E debe de pasar desapercibida por el receptor monofónico. Para ello lo que se hace es mezclarla con la señal M. La «mezcla» puede realizarse de varias maneras, y aquí era donde precisamente estribaba la diferencia entre los distintos sistemas experimentados y propuestos para su aceptación con vistas a una normalización. Aquí sólo vamos a ver los aspectos relacionados con el funcionamiento del sistema que resultó elegido, y que es el que adoptan

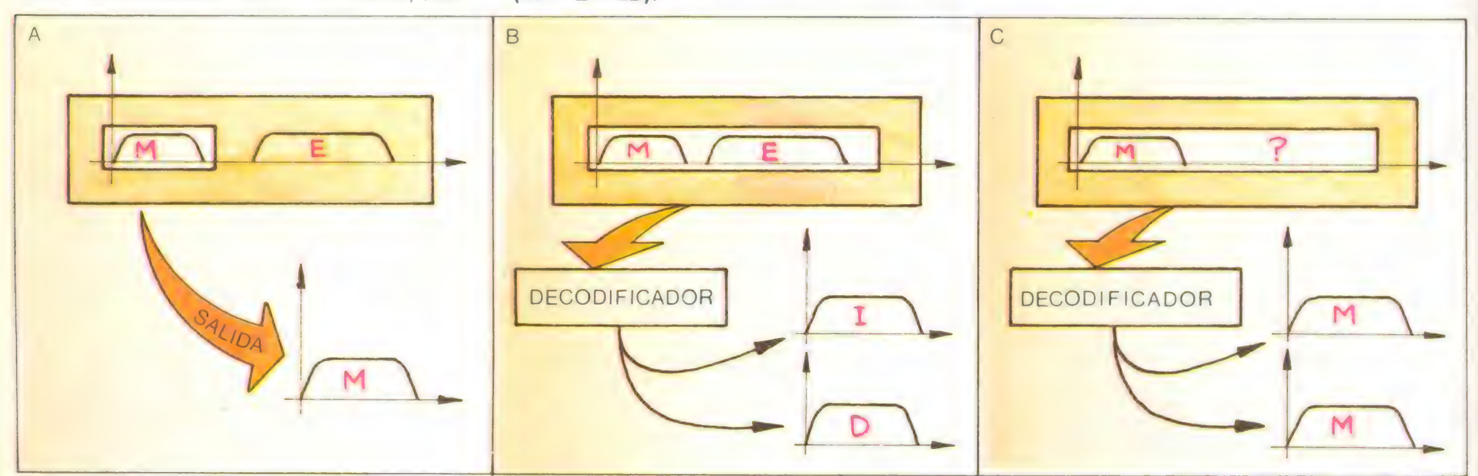
todos los fabricantes de sintonizadores.

En esencia, el método empleado en la actualidad transmite la señal M como si de una emisora normal se tratara. La señal E se introduce como un sonido de frecuencia supersónica (por encima de 20 KHz), de forma que se envía junto con la señal M. En el lado receptor, un sintonizador no preparado para recibir señales estereofónicas sólo «verá» y dejará pasar la señal M, y no la señal E, ya que para él serán sonidos inaudibles que eliminará. Así se consigue la condición de compatibilidad.

Por otro lado, un sintonizador preparado «sabe» que por encima de las frecuencias audibles existe otra señal (si la emisora es estereofónica) que lleva información útil. Por tanto, las



La combinación adecuada de M y E dan las I y D. Así, con la suma de M y E se obtiene el canal izquierdo (M + E = 2I), mientras que con su diferencia se obtiene el canal derecho (M − E = 2D).



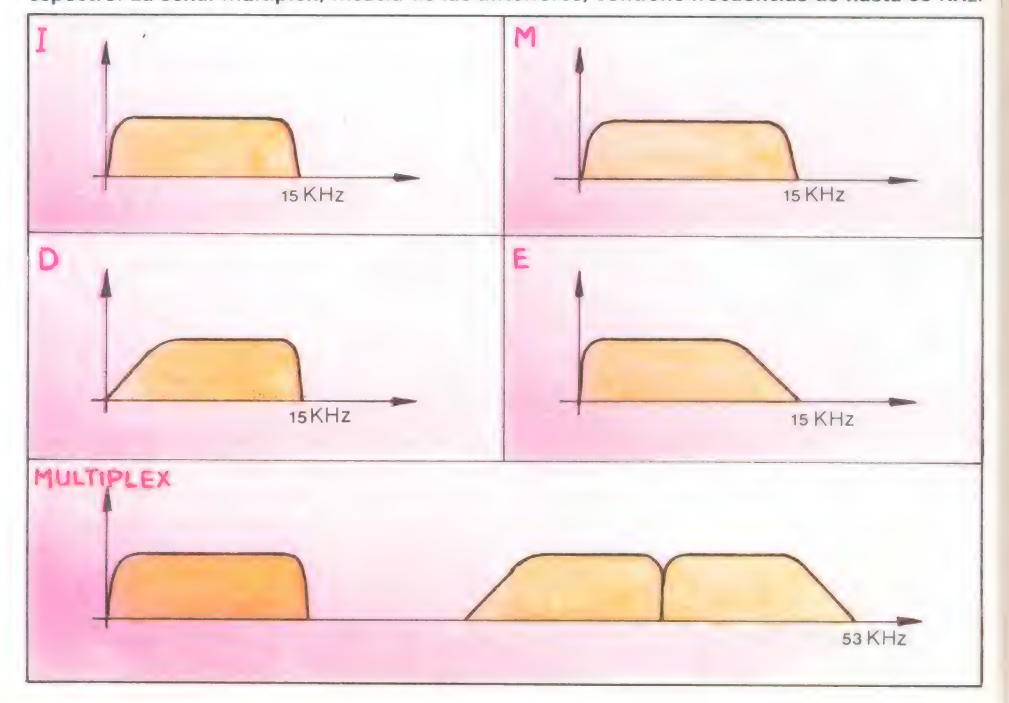
Un receptor monofónico sólo es capaz de «ver» la parte M de una señal estéreo (A). Por el contrario, uno estereofónico puede procesar adecuadamente la señal para dar las I y D (B). Igualmente puede procesar una señal monofónica, ya que en este caso, no existiendo información estéreo, envía la señal M a ambas salidas (C).

separará y procesará adecuadamente, entregando a su salida las señales de los dos canales (I y D) por separado. Cuando al sintonizador estéreo llega una señal desde un transmisor monofónico, examina si hay «algo» por encima del margen audible. Como, en este caso, no encontrará nada, lo interpretará como que la señal recibida no es estereofónica (como en realidad ocurre), y entregará en ambos canales (I y D) idéntica señal, igual a la recibida.

Pérdida de calidad

Puede considerarse que la señal monofónica (suma de ambos canales) tiene el mismo espectro de frecuencias que el de cada uno de los canales por separado, ya que, al fin y al cabo, las tres están formadas por sonido proveniente de unas determinadas fuentes. Por tanto, se necesitará para su correcta transmisión un ancho de banda de audio del orden de los 15 KHz.

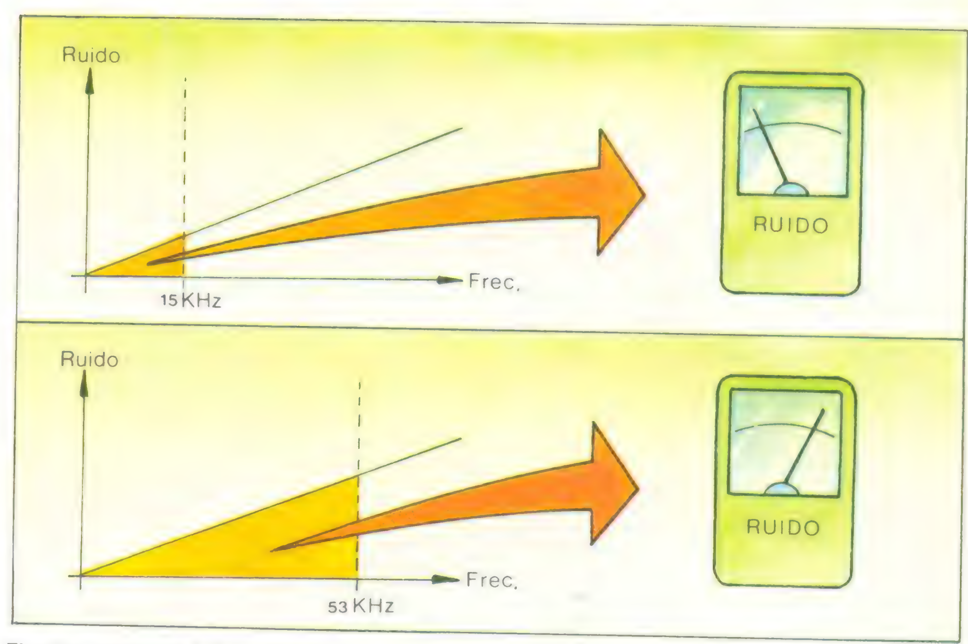
Las señales I y D provienen de un programa sonoro, y contendrán frecuencias de hasta 15 KHz. Las señales M y E, que son combinaciones de las anteriores, presentarán el mismo espectro. La señal múltiplex, mezcla de las anteriores, contiene frecuencias de hasta 53 KHz.



La señal diferencia de canales, que es la que lleva la información estereofónica, se mezcla con la anterior como si se tratara de sonidos supersónicos (de frecuencias superiores a la maxima audible), como ya se explica en otro sitio de estas mismas páginas. Esto es consecuencia de la forma en que se lleva a cabo la mezcla, lo cual no quiere decir que la señal E contenga frecuencias supersónicas en sí. También para esta señal (antes de efectuar la mezcla) cabe considerar un ancho de banda de unos 15 KHz, ya que está compuesta por señales de audio igual que la anterior. El hecho de que sea *diferencia* de señales no implica sino una posible disminución de amplitudes, pero no del ancho de banda ocupado.

La señal resultante de la «mezcla» de las mono (M) y estéreo (E) ocupa un ancho de banda del orden de 53 KHz (muy por encima del espectro de audio), por lo que los equipos que la manejen deben ser de diseño especialmente concebido para señales estereofónicas. Naturalmente, este mayor ancho de banda ocupado implica un mayor ancho de canal de transmisión (que no va en proporción con el aumento del de la señal a transmitir), ya que se producen más componentes laterales, como ya dijimos en su momento.

La recuperación del mayor número posible de componentes implica, en el lado receptor, una mayor amplitud de paso de banda en las distintas etapas. Esto también implica una mayor cantidad de ruido a la salida, por lo que de dos transmisiones, una en mono y otra en estéreo, la segunda tendrá una relación señal/ruido (calidad) menor, en igualdad del resto de condiciones (antena, sensibilidad, potencia de transmisión, etc.).



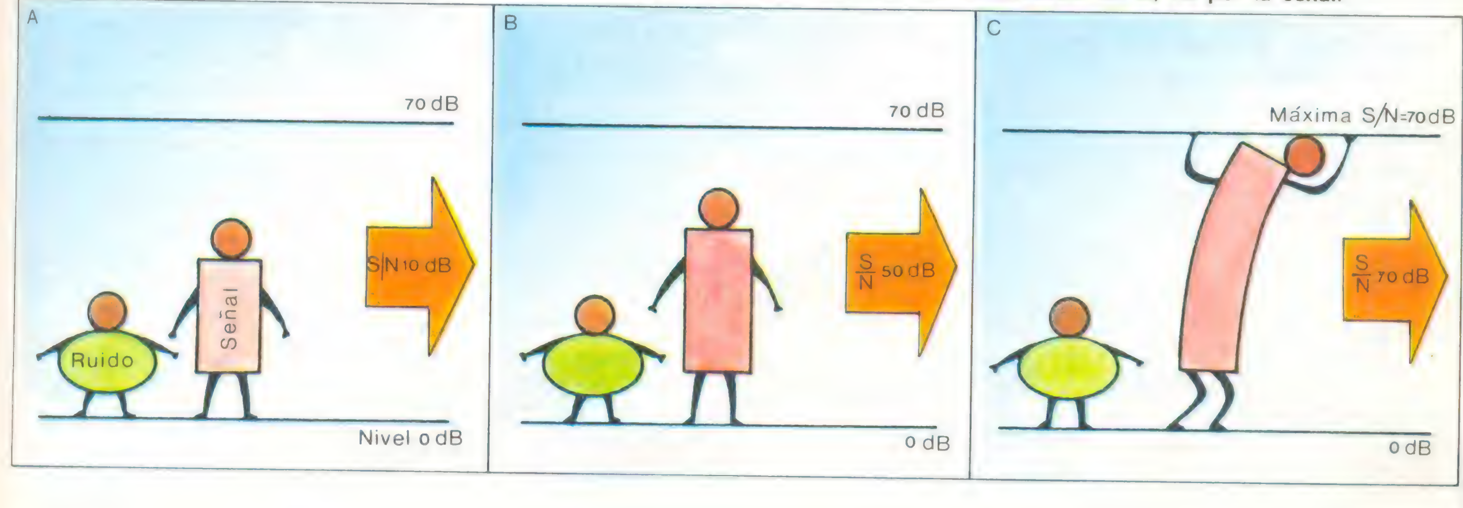
El ruido presente a la salida de un sintonizador de FM depende en gran manera de la banda de paso de la señal de radio. Así, para señales estéreo, se obtiene un mayor nivel de ruido, por ser mayor igualmente la banda de paso. El aumento del ruido se cifra en algo más de 20 dB.

Si hasta ahora se había hecho gran hincapié en la utilización de la antena correcta para FM, cuando la emisión sea estereofónica su uso resulta de primerísima importancia si deseamos una recepción correcta con un nivel de calidad aceptable. La pérdida de calidad alcanza una cifra importante (poco más de 20 dB), aunque afortunadamente existen remedios para compensarla.

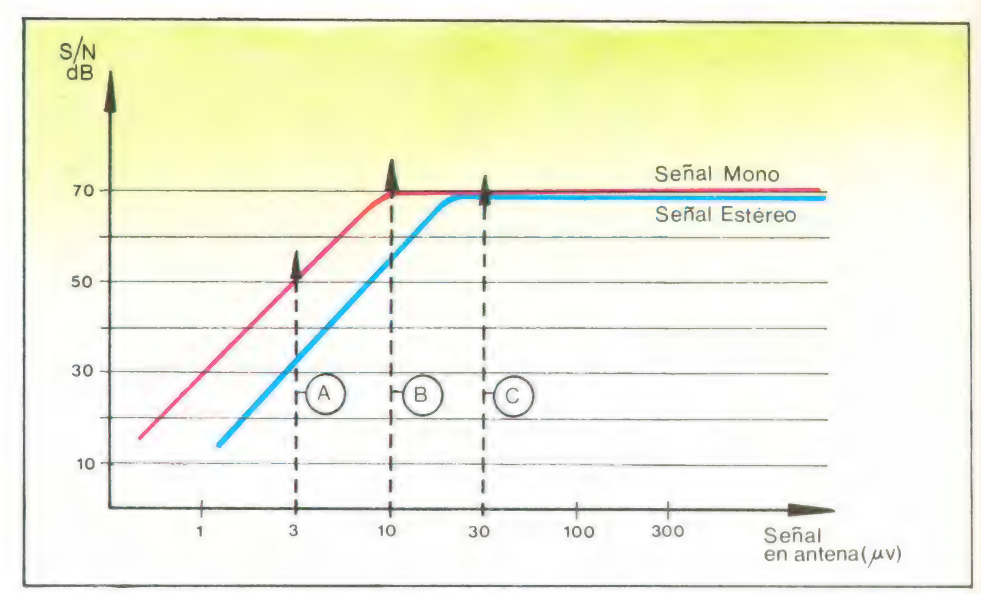
Hemos de pensar que la cantidad de ruido presente a la salida de nuestro sintonizador es aproximadamente constante (sólo depende del mayor o menor ancho de banda empleado), por lo que la calidad dependerá directamente de la señal útil que el sintonizador reciba. Dicho de otra forma, una pérdida de calidad se puede compensar con un mayor aporte de señal. Para un sintonizador dado, ¿cómo puede entregársele más señal? Muy sencillo: con una antena más directiva. ¿Y para una cierta cantidad de señal recibida? La solución sólo puede pasar por un receptor más sensible. En ambos casos, también sería importante un aumento de la potencia del transmisor, lo que acarrearía mayor señal; pero este extremo es difícilmente modificable por el aficionado.

La pérdida de calidad antes dicha (20 dB) puede conseguirse con una antena, aunque debería ser muy directiva, lo que implica también un gran número de elementos. Con un dipolo como elemento activo, y 18 elementos pasivos (dos reflectores y 16 directores) se consiguen del orden de

El ruido presente en la salida de un sintonizador es apreciablemente constante, por lo que la calidad (relación señal/ruido) de la reproducción dependerá directamente del nivel de señal útil. Así, en (A) la calidad es pobre; en (B) es suficiente, al haber aumentado la señal, mientras que en (C) hay suficiente señal como para que la calidad venga dada por los circuitos del sintonizador en sí, no por la señal.



13 dB de ganancia, aún lejos de los 20 dB necesarios, y siendo ya una antena realmente aparatosa.
Más importantes son las ganancias conseguidas cuando se eleva la antena sobre el terreno circundante. Así, situándola a 15 metros por encima del nivel en que la tenemos se consiguen unos 14 dB de ganancia, y si conseguimos elevarla 25 metros, la ganancia pasará a ser del orden de 20 dB, con lo que se podrá compensar la pérdida antes dicha, incluso empleando la misma antena.
La elevación puede conseguirse situando la antena en lo alto del edificio donde vivimos, o con ayuda de un mástil o torre adecuada; incluso situándola en algún promontorio próximo, aunque esto implicará una línea larga de unión entre antena y sintonizador, existiendo pérdidas suplementarias a tener en cuenta. Con cintas planas de calidad de 240 ó 300 Ω las atenuaciones introducidas son del orden de 2 a 3 dB por cada 100 metros de línea, mientras que con cable coaxial pueden ser de 5 a 8 dB para igual longitud.
No siempre es necesaria la adopción de medidas tales como las comentadas; dependerá de cada caso concreto. Puede hacerse una prueba muy sencilla, que nos dirá si necesitamos o no mejorar el sistema de antena que tenemos. Se trata de sintonizar una emisión en estereofonía. Seleccionemos el modo de funcionamiento del sintonizador en la posición *mono;* oiremos la emisión con una cierta calidad. Sin variar la sintonía, seleccionemos ahora el modo en estéreo o en automático; la calidad de audición apenas si debe variar. Si al pasar a estéreo se nota un ruido de fondo, similar a un siseo (aunque el programa sonoro se oiga con nitidez), necesitaremos mejorar la antena.
En zonas urbanas y cuando la emisora sea de gran potencia, la señal recibida suele ser lo suficientemente elevada como para permitir funcionar al sintonizador con una antena normal omnidireccional. Cuando la distancia a la emisora sea superior a unos 30 kilómetros es cuando pueden presentarse los problemas.

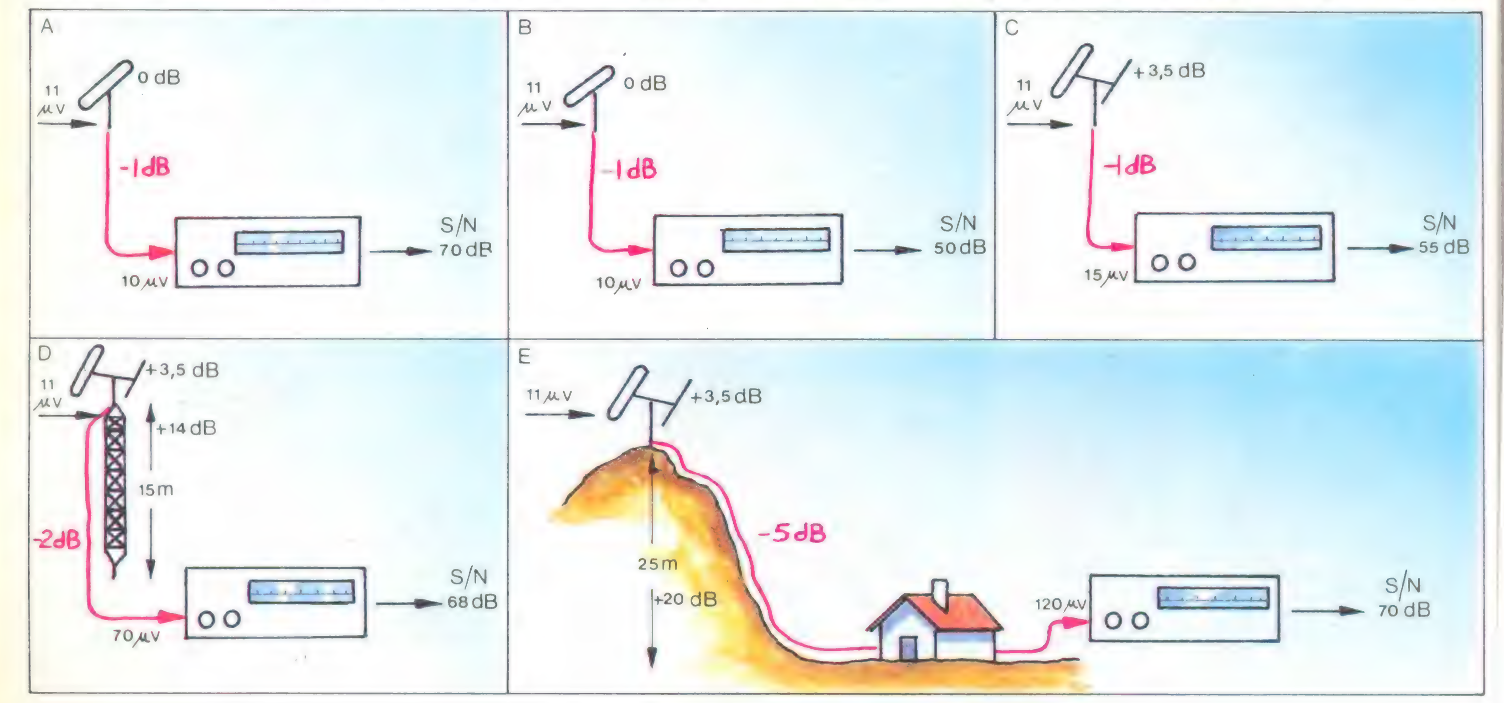


La calidad de una reproducción depende del nivel de señal en antena, y de si la transmisión es o no estereofónica. Con 3 μV (A) se obtiene una calidad aceptable en mono, pero no en estéreo. Con 10 μV (B) se obtiene una calidad excelente en mono y aceptable en estéreo. Con 30 μV y más en antena (C) se obtienen niveles de calidad excelentes tanto en mono como en estéreo.

Sensibilidad de los sintonizadores

Ya dijimos anteriormente, qué se entiende por sensibilidad. Para FM se suele dar siempre la tensión de señal que hay que aplicar sobre la toma de

Las pérdidas y ganancias en decibelios pueden sumarse algebraicamente. Las principales cifras se obtienen de la ganancia de la antena (0 ó + 3,5 dB), las pérdidas en el cable (− 1, − 2 y − 5 dB), y las ganancias por elevación de la antena (+ 14 y + 20 dB). Esto hace variar la calidad de la salida obtenida. En (A) se considera que la señal recibida es monofónica, mientras para el resto de las situaciones, señal estéreo.

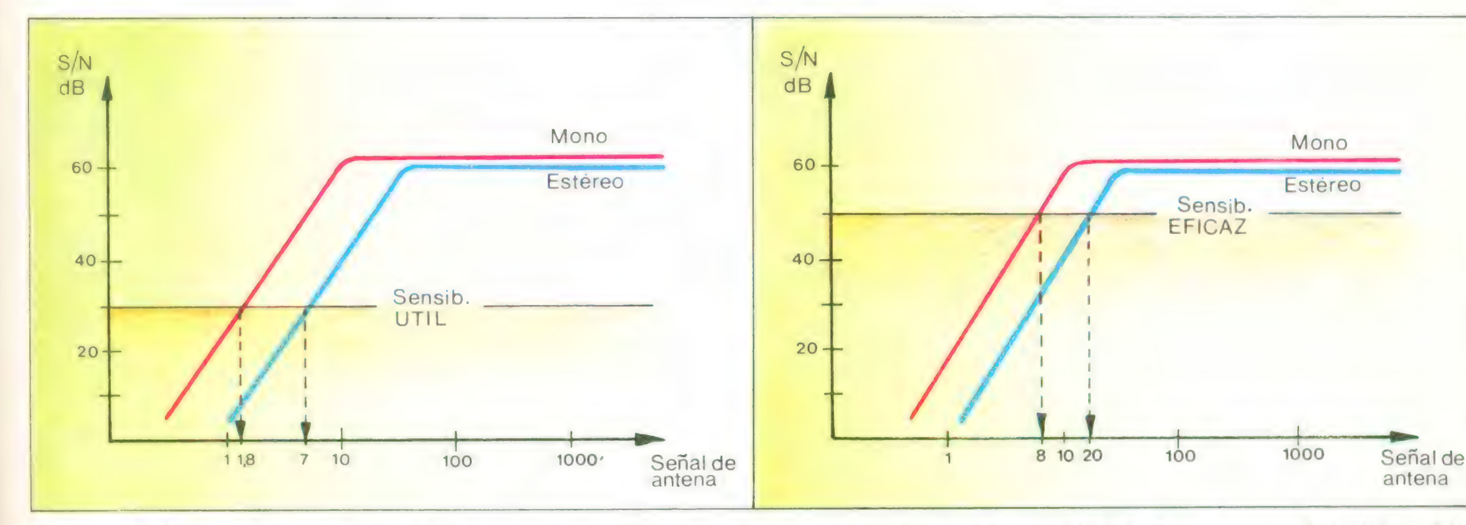




Las antenas para FM es conveniente situarlas lo más elevado posible sobre el terreno circundante. Solamente con una torre adecuada, puede multiplicarse la señal recibida.

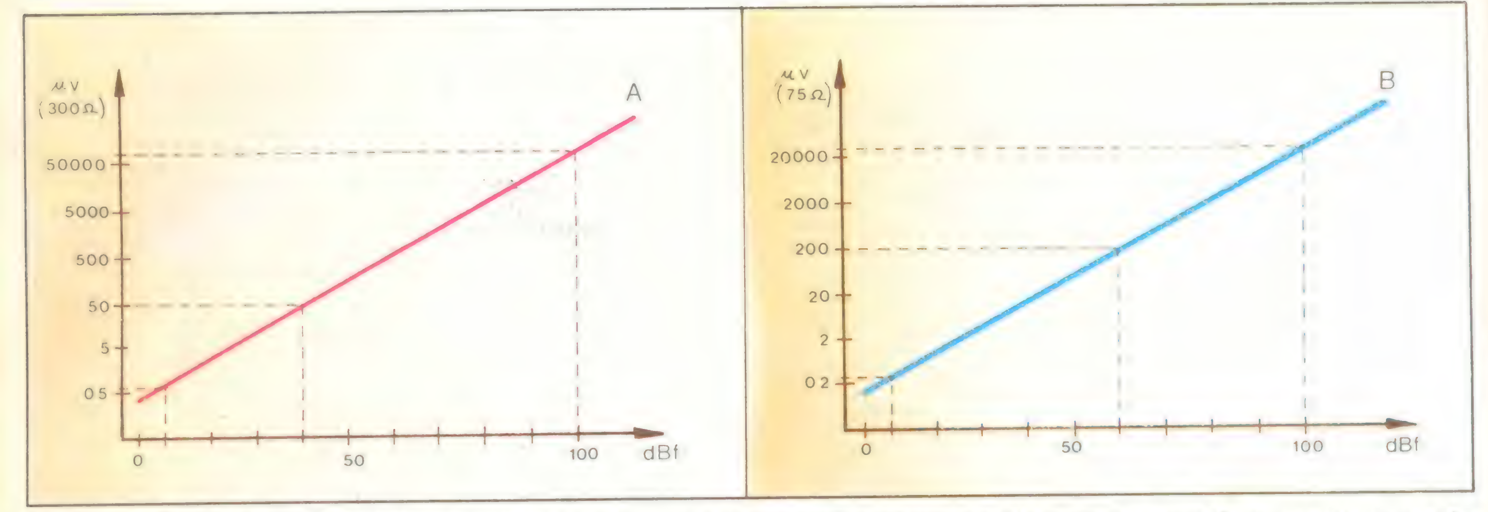


Los niveles de sensibilidad de un receptor se miden sobre la toma de 300 ohmios (normas IHF) o sobre la de 75 ohmios (normas DIN).

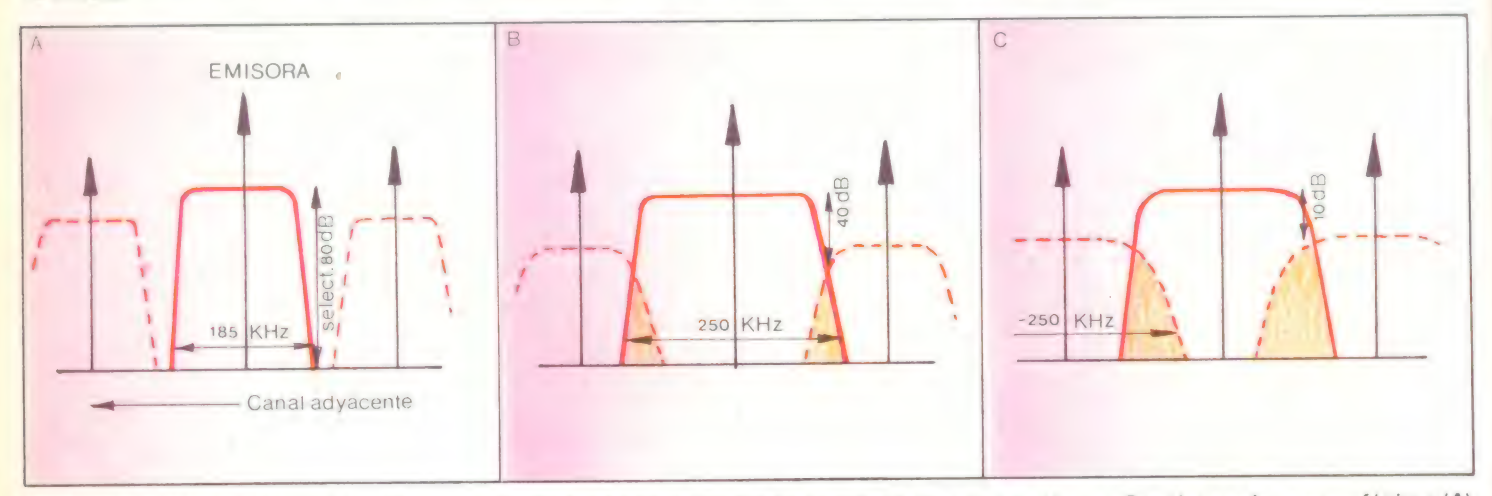


Las cifras dadas como de sensibilidad útil son mucho más bajas que las correspondientes a la sensibilidad eficaz, porque el nivel de calidad en las últimas es mayor que en las primeras.

300 Ω para conseguir una cierta calidad (un valor mínimo de la relación señal/ruido) a la salida. Es importante recalcar que la cifra dada debe ser sobre 300 Ω; si la sensibilidad se da para la toma de 75 Ω, o incluso sobre 60 Ω (como especifican las normas europeas DIN), la cifra es justamente la *mitad* de la que se obtendría sobre 300 Ω. No nos dejemos engañar por las especificaciones y leámoslas bien, de forma que cuando comparemos las prestaciones de dos equipos distintos, asegurémonos de que las condiciones de prueba son iguales para ambos.
Suelen admitirse dos niveles de calidad para dar la cifra de sensibilidad. Así puede definirse la *sensibilidad útil* (en inglés, «usabe sensitivity») como aquel valor que proporciona una relación señal/ruido a la salida de 30 dB. Mucha mejor calidad de escucha se obtiene cuando dicha relación sube a 50 dB; la cifra dada para esta calidad es la que se conoce como *sensibilidad eficaz* (en inglés, «quieting sensitivity»), y naturalmente es mayor que la anterior. En cualquiera de los dos casos, cuanto más baja sea la cifra, más sensible será el sintonizador, y más débiles señales será capaz de captar y hacerlas sonido.
Cuando la señal que se recibe es estereofónica, la cifra de sensibilidad del sintonizador es considerablemente más elevada que para señales monofónicas, debido a las características propias del sistema que ya hemos comentado. No obstante, un sintonizador estereofónico puede siempre tratar como monofónica una señal estéreo, de forma que, en caso de calidad pobre, siempre queda la posibilidad de escuchar en monofonía la emisora; se trata simplemente de obtener calidad a cambio de otras prestaciones del equipo.
Las cifras que pueden encontrarse hoy día para la sensibilidad útil son del orden de 2 μV (300 Ω), e inferiores, para señal monofónica, y de 5 μV



Las sensibilidades de dos sintonizadores medidas en dBf pueden compararse directamente, sin tener en cuenta la norma con que se ha hecho la medida. Aquí se dan dos gráficos para convertir a dBf las sensibilidades expresadas en microvoltios (μV) sobre 300 y sobre 75 ohmios.

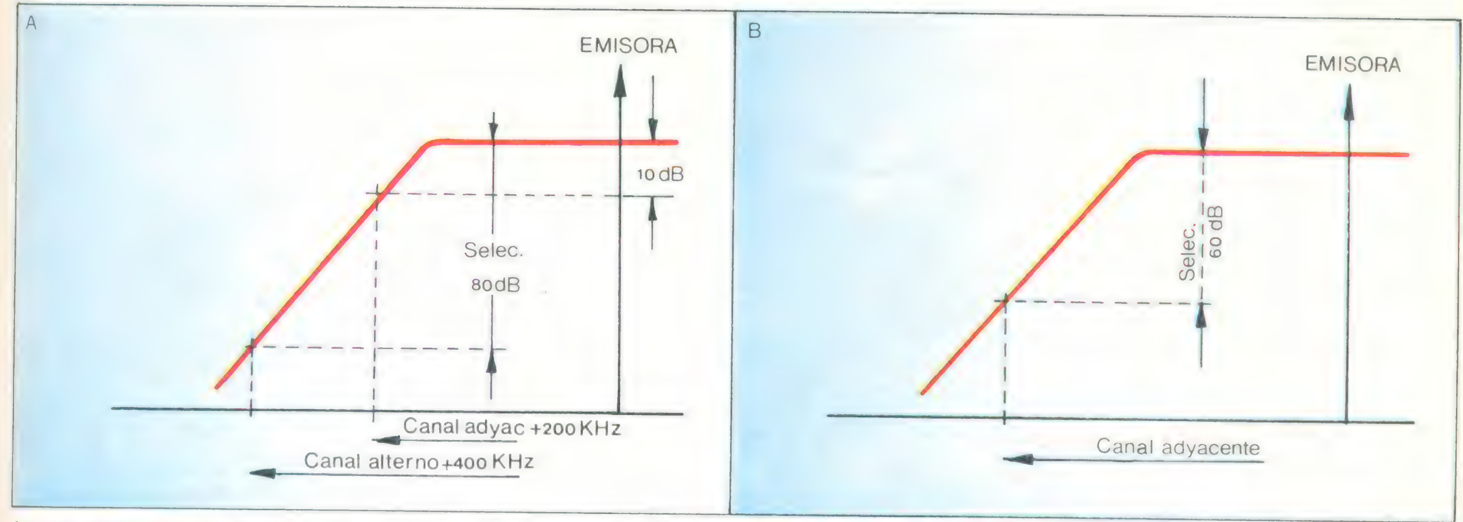


La selectividad de los sintonizadores depende en gran manera del ancho de banda de paso de los mismos. Para los equipos monofónicos (A) la selectividad es grande, ya que la banda pasante es más exigua. Cuando un receptor estéreo sintoniza una emisora estéreo (B) el ancho de banda es mayor, con lo que la selectividad disminuye. La cosa se complica cuando emisoras en canales adyacentes transmiten en estéreo (C), pues la selectividad puede reducirse aún más.

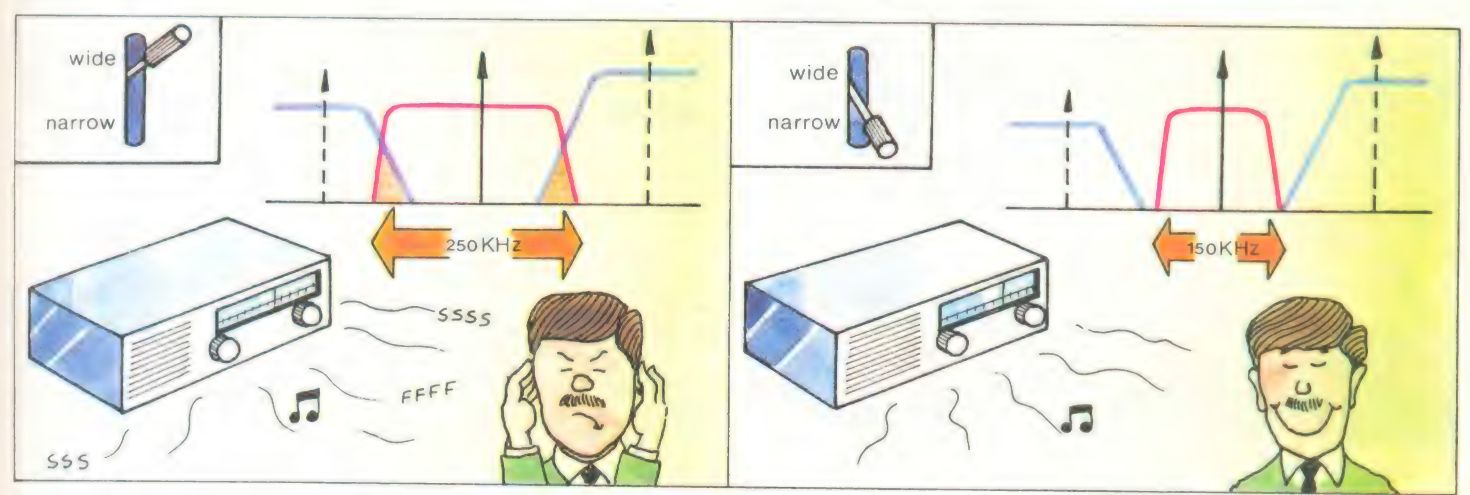
(300 Ω), y menores, para señal estéreo. Cuando se desea una recepción de mayor calidad y nos vamos a las cifras dadas para la sensibilidad eficaz los números se disparan, siendo corrientes valores del orden de 5 μV (300 Ω) para mono y de 40 μV (300 Ω) para señal estéreo.
Todas las cifras dadas hasta aquí se refieren a la normativa americana IHF, más al día que su correspondiente europea DIN. De cualquier forma, las diferencias no son muy notables, pues esta última establece que las relaciones señal/ruido obtenidas con las cifras de sensibilidad útil y eficaz deben ser de 26 y 46 dB, respectivamente, algo más bajas que los 30 y 50 dB de las IHF. Esto supone que para un mismo sintonizador la cifra de sensibilidad obtenida según las especificaciones DIN es aproximadamente las 2/3 partes de la obtenida según las IHF para el caso de la sensibilidad eficaz, mientras que es un 10 % menor cuando se da la cifra de sensibilidad útil (a causa de las características propias de los sintonizadores). Normalmente, esos 4 dB de diferencia entre unas y otras no deben ser decisorios, en general, a la hora de la elección de un equipo, por lo que, con carácter general, pueden compararse las cifras de sensibilidad directamente, sin tener en cuenta si son normas DIN o IHF, pues la simple adición de un reflector a un dipolo supone ya 3,5 dB de ganancia, por lo que en casos límite la solución a adoptar puede ser sencilla.
El hecho de dar una cifra de sensibilidad eficaz conlleva una relación señal/ruido mínima de 50 dB. Naturalmente, esto implica que el conjunto de circuitos del sintonizador va a tener una calidad igual o superior a esos 50 dB, pues de otra forma no tendría sentido hablar de «sensibilidad eficaz». En la práctica, suelen darse calidades superiores, siendo corriente encontrar relaciones señal/ruido superiores a 70 dB para recepción monofónica y a 65 dB para estéreo (con el nivel de señal en antena suficientemente elevado).

La selectividad en FM

Todos los sintonizadores de FM de calidad son hoy día del tipo superheterodino. La selectividad en este tipo de sintonizador depende fundamentalmente de la etapa de frecuencia intermedia (FI). Del diseño de esta etapa también depende el ancho de banda que va a dejar pasar el sintonizador, parámetro importante en especial para FM estéreo, pues es el que va a determinar la calidad obtenida con una señal radio estereofónica.
Si la atención del diseño va hacia una



La selectividad de un sintonizador medida según normas IHF (A) es muy distinta según que se trate del canal adyacente o del contiguo. Para las normas DIN (B) hay una sola medida.



Cuando se obtiene gran cantidad de interferencias de emisoras próximas, puede seleccionarse la anchura de la banda de paso del sintonizador, con lo que se suprimen las mismas.

buena calidad de sonido estereofónico, el ancho de banda pasante debe ser grande; pero cuanto más «ancho» sea, más nos acercaremos al espectro de frecuencias ocupado por la emisora del canal adyacente y, por tanto, más empeorará la selectividad del sintonizador. Así, pues, existe un compromiso práctico entre ambos parámetros, pues mejorar uno implica empeorar el otro.

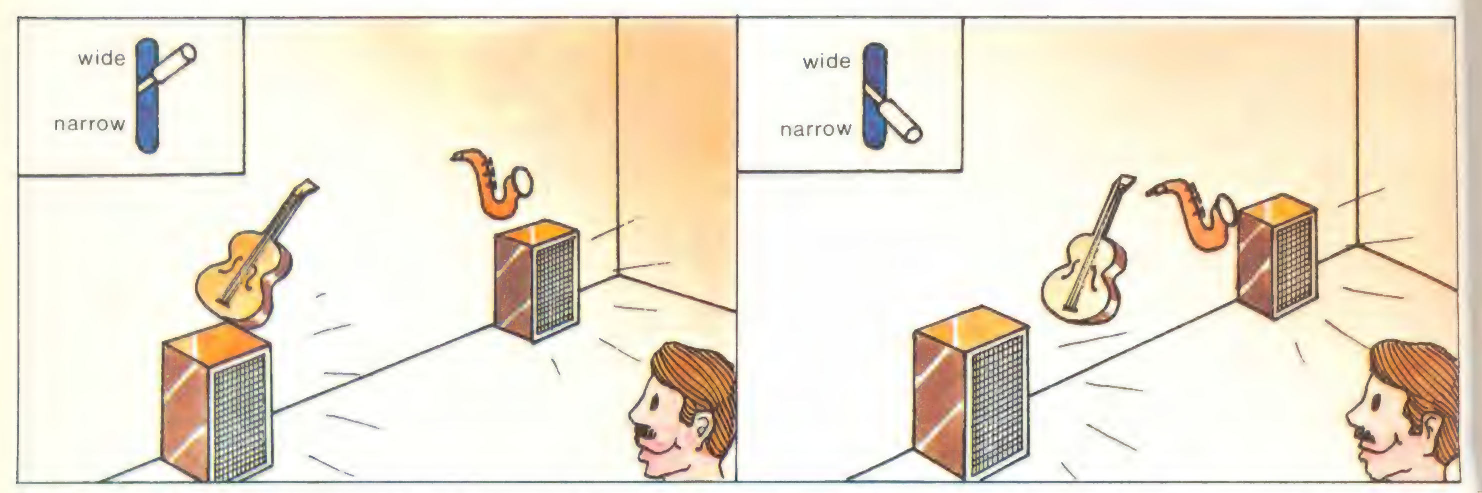
Es difícil precisar cuál es el ancho de banda idóneo para una recepción de calidad en FM estéreo; la cifra óptima podríamos situarla sobre 225-250 KHz. Con espaciamiento entre emisoras próximas de tan sólo 200 KHz (canales adyacentes en EE. UU.), es claro que no pueden permitirse tales anchos de banda, con lo que la recepción de señales estereofónicas se hace muy crítica. Es por eso que se establece la separación de canales de 400 KHz (canales alternos) cuando por lo menos una de las dos emisoras en litigio transmite en estereofonía.

Es por esta razón que en las especificaciones de los sintonizadores suelen darse dos cifras de selectividad, una respecto del canal adyacente y otra para el canal alterno. Cuando sólo se da una de ellas se sobrentiende que es la del canal alterno. La forma de realizar la medida es la misma que ya se explicó anteriormente para AM, aunque los valores suelen diferir bastante. Así, para el caso del canal adyacente suelen encontrarse cifras muy bajas, del orden de 10 dB, lo que significa selectividad muy poco acusada, debido a las causas ya comentadas. En cambio, para el canal alterno las cifras son mucho más elevadas, y los buenos sintonizadores no presentan menos de 60 ó 65 dB de selectividad para una desviación típica de ± 75 KHz. En cualquier caso, cuanto mayor sea la cifra, mayor selectividad tendrá el equipo.

Para los equipos europeos, en que la separación entre canales normalizada es de 300 KHz, la selectividad se da

Mando del selector de anchura de banda en un sintonizador comercial.





La eliminación de interferencias por estrechamiento de la banda de paso tiene el inconveniente de que se realiza una cierta mezcla de los canales, con lo que se pierde algo de imagen estereofónica.





En ocasiones, los supresores de interferencias vienen con otros nombres. Es importante elegir un tipo de circuito que actúe sobre la señal de radio y no sobre la calidad de la señal de audio.

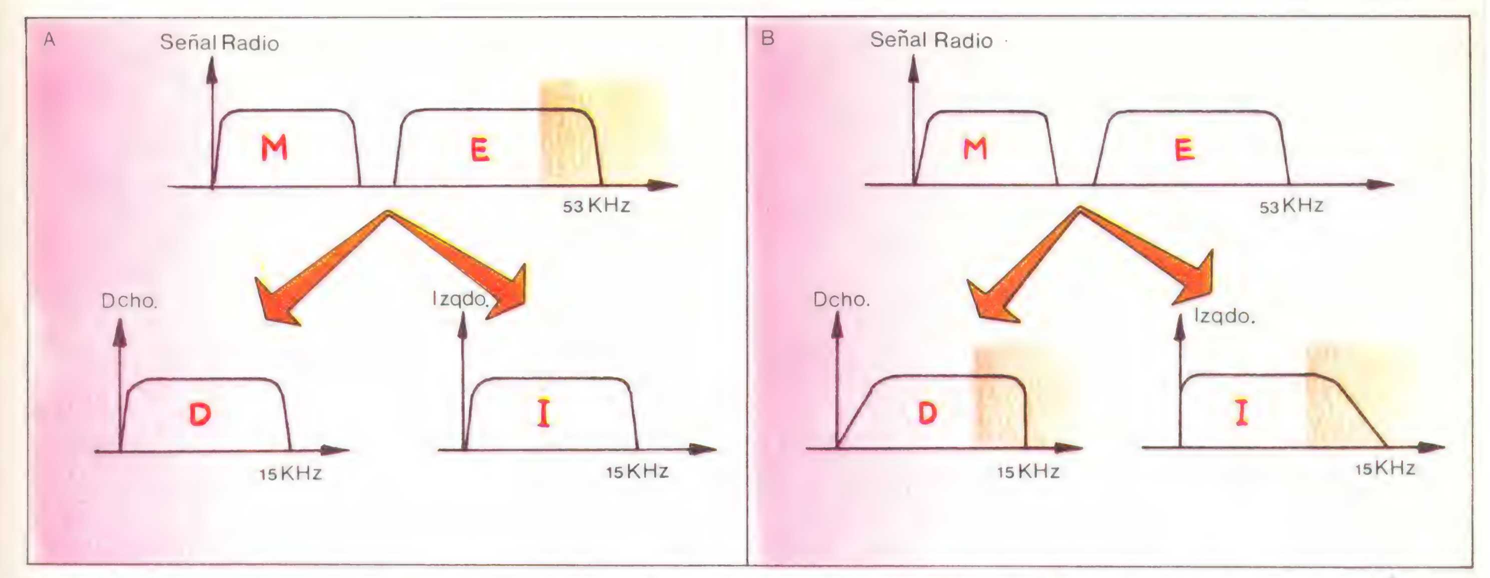
sólo para el canal adyacente, y suelen obtenerse cifras también por encima de 60 dB. De todas formas es conveniente advertir que esta última cifra se da para desviaciones de frecuencia típicas de ± 40 KHz, lo que supone un menor ancho de banda ocupado por las emisoras, y, por tanto, una mejor cifra de selectividad. Por esta razón las cifras de los equipos europeos (norma DIN) no son directamente comparables con las dadas para los equipos de origen americano o japonés (norma IHF).

Desafortunadamente para el aficionado, no es sencillo establecer un método de comparación, partiendo sólo de las cifras dadas, pues entran otros parámetros en juego. De todas formas, podemos decir que de dos sintonizadores que presenten cifras iguales de selectividad, el medido con arreglo a las normas IHF será ligeramente más selectivo que el que lo haya sido según normas DIN, aunque insistimos que se trata de una generalización. Dicho de otra forma, un mismo sintonizador dará mejores cifras de selectividad cuando se le hagan cumplir las normas DIN, que cuando la medición se haga con arreglo a la normativa IHF. Todas estas cifras son válidas para sintonizadores preparados para recibir señales estereofónicas, que son los que mayor ancho de banda necesitan. Aquellos equipos que sólo puedan recibir señales monofónicas tendrán, lógicamente, una selectividad mucho más acusada, ya que dichas señales necesitan un menor ancho de banda pasante.

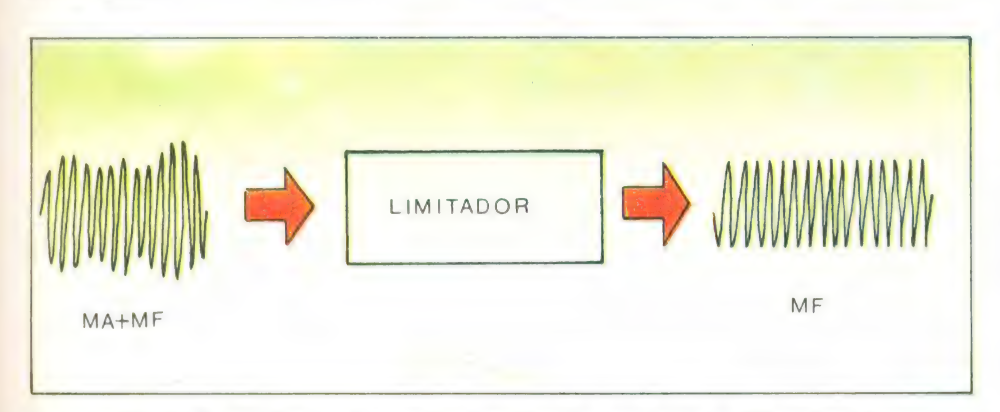
En un sintonizador con suficiente ancho de banda en el paso de FI como para recibir perfectamente señales estereofónicas pueden presentarse otros problemas. Si vivimos en una zona a la que llega similar señal de dos emisoras situadas en canales próximos, la interferencia de una sobre la otra puede ser importante, debido precisamente a ese gran ancho de banda del sintonizador.

Por esta razón, algunos equipos incorporan un mando que permite al usuario poder elegir el ancho de banda de la etapa de FI. Dicho mando (pulsador o conmutador) suele tener dos posiciones, denominadas generalmente *FI banda ancha* (en inglés, «wide band IF») y *FI banda estrecha* («narrow band IF»). En las primeras se tiene la suficiente amplitud como para recibir señales estereofónicas, mientras que en la segunda el ancho de banda se acorta lo suficiente como para evitar interferencias del canal próximo.

Como fácilmente se comprende, este mando permite elegir la selectividad del sintonizador. Así, mientras que en la posición *ancha* la selectividad puede ser pobre (30 dB), en la *estrecha* pueden alcanzarse cifras excepcionales (por encima de 80 dB), con lo que aseguramos la eliminación de las interferencias. Estas cifras se refieren siempre al canal alterno (± 400 KHz), ya que para el adyacente (± 200 KHz) las cifras de selectividad en estos equipos son muy bajas (10 ó 20 dB en «estrecha» y 0 dB en «ancha»). En



Los clarificadores pueden ser de dos tipos: o bien recortan el ancho de banda de la señal de radio (A), con lo que no se varía la calidad de la señal de audio, o bien no se actúa sobre la señal de radio (B), sino que se suprimen las frecuencias altas de audio. Son preferibles los del primer tipo.



La supresión de la modulación de amplitud residual en una onda de FM se lleva a cabo por la etapa limitadora. Cuanto mejor actúe dicha etapa, menores interferencias de tipo atmosférico (entre otras) se producirán.

equipos europeos es raro encontrar este mando, pues la separación de 300 KHz entre canales adyacentes suele ser suficiente para que no se interfieran entre sí.

Parece claro que un tratamiento correcto de la señal estereofónica sólo se conseguirá con el mando en la posición «ancha», ya que en «estrecha» se suprimirán algunas de las componentes de la señal de radio, perdiéndose parte de la información necesaria para recomponer perfectamente la imagen estereofónica. Como más adelante veremos, el efecto de dicha pérdida se hace patente como una mezcla de los canales estéreo, que así sólo podrán tener una separación baja, inferior a aquélla con que fueron transmitidos en origen.

Las interferencias de emisoras en canales próximos suelen apreciarse como ruidos audibles que caen en el extremo de los agudos (tales como siseos, chisporroteos y ruidos similares). Una forma de eliminarlos puede consistir en limitar la banda de paso de *audio,* más bien que la de *radiofrecuencia.* En este caso, estaremos limitando la calidad (su respuesta en frecuencia) de la señal audio, independientemente de su mejor o peor imagen estereofónica. Entendemos que esta acción sólo debe tomarse cuando el grado de interferencia sea sumamente elevado, y que debe actuarse sobre el mando apropiado del preamplificador de la cadena, más que en el sintonizador. De todas formas, si esta situación se presenta, es preferible cambiar de programa, ya que la calidad obtenida en estas condiciones no va a ser muy elevada.

Los circuitos supresores de interferencias se presentan a veces con otros nombres, como *clarificador* (o, en inglés, «hi-blend» y «clarifier»), que pueden limitar la frecuencia de audio o bien la de la señal de radio (actuando a modo de selectores de banda de FI). Es preferible siempre el uso de los segundos, aunque también se presenta mezcla de los canales estereofónicos, en especial en las frecuencias altas de audio (agudos).

Otras características

También suele expresarse por medio de cifras otras características destacadas de los equipos sintonizadores. Por ejemplo, ya todos sabemos que la etapa anterior al demodulador en un sintonizador de FM (no en el caso de AM) es la llamada «limitadora», cuya misión es conseguir que al demodulador lleguen solamente variaciones de frecuencia y no de amplitud de la portadora. Este paso suprime cualquier modulación de amplitud que pudiera contener la señal radio, ya que dicha modulación (en caso de existir) no forma parte de la información útil, y debe ser eliminada.

Como sucede con todos los circuitos, el funcionamiento no es perfecto, y se suprime la modulación de amplitud sólo hasta cierto punto. Es decir, se lleva a cabo una «atenuación» de la misma. Cuanto mayor sea ésta, más cerca estará el equipo de la perfección. Como otros parámetros la atenuación de AM en una onda de FM, suele medirse en decibelios, siendo corriente encontrar valores superiores a unos 55 ó 60 dB (un valor de 60 dB supone rebajar la variación en la amplitud en un factor de 1.000). Entre otras cosas, esta cifra elimina los ruidos e interferencias atmosféricas (por ejemplo, las producidas por una tormenta) a su milésima parte, con lo que la escucha estará prácticamente exenta de este tipo de interferencia.

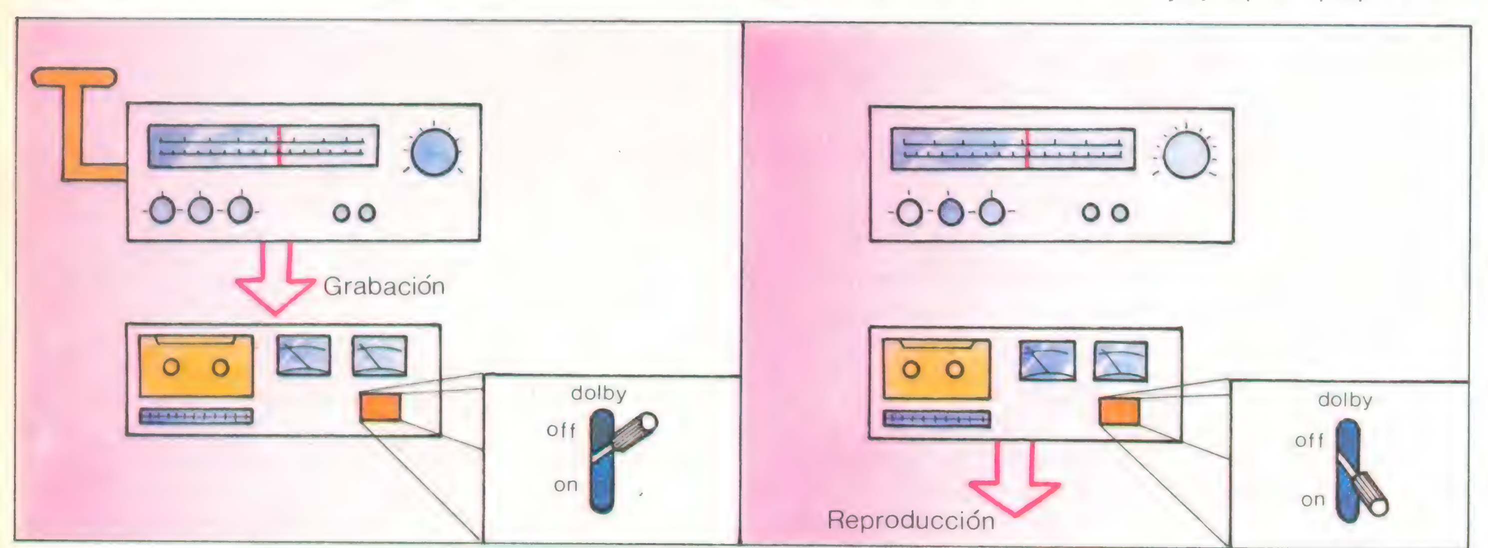


Cuando una transmisión se efectúa con sistema Dolby, la red de preénfasis/deénfasis a emplear debe ser de 25 μseg. Este extremo ha de tenerse en cuenta para una correcta recepción de las señales.

El elevado nivel de calidad obtenido en la transmisión en FM ha llevado a adoptar nuevos sistemas para aprovechar al máximo sus prestaciones. Así, algunas emisoras comienzan ya a transmitir sus programas con procedimientos de reducción de ruido incluidos. En la práctica, el único que ha conseguido aceptación ha sido el sistema Dolby, que se basa en idénticos principios que su homónimo para magnetófonos.

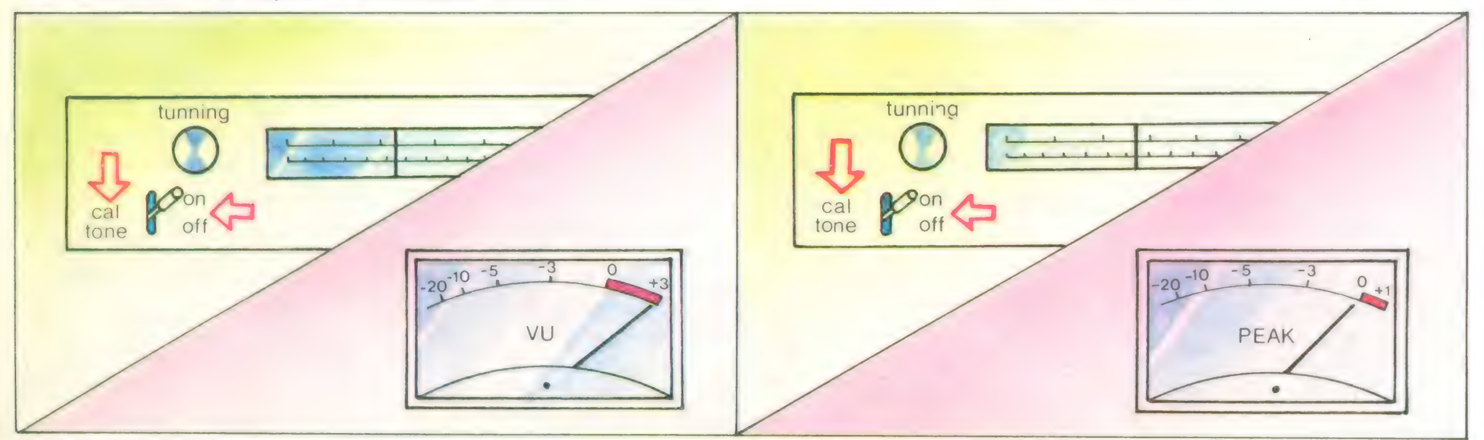
Las emisoras que emplean este método aplican al programa de audio a transmitir el sistema Dolby B como si se tratara de una grabación magnetofónica (de la que ya se habló en su momento). Existe una pequeña diferencia con la transmisión normal. Mientras que en EE. UU. se emplea un preénfasis de 75 µseg, y en Europa de 50 µseg, para las transmisiones efectuadas con Dolby incorporado se utiliza un preénfasis de 25 µseg. Naturalmente, la misma constante de tiempo debe emplearse en el circuito del lado receptor para proporcionar el deénfasis adecuado. De otra forma, la señal recuperada no tendrá idénticas características que la transmitida.

La transmisión con Dolby (independientemente de la correcta aplicación del deénfasis) es útil cuando la señal de salida del sintonizador se lleva a una grabadora de cinta directamente. En este caso, la grabación debe realizarse *sin la inclusión en la misma del sistema Dolby,* ya que la propia señal



Cuando se graba en un magnetófono una transmisión en FM-Dolby, el mando del reductor de ruido debe seleccionarse sin introducir dicha corrección. En cambio, cuando se reproduce la cinta así grabada, debe conectarse la corrección Dolby.

La aguja o indicador luminoso del magnetófono debe situarse sobre + 3 dB (si mide valores eficaces o viene marcado como VU) o sobre 0 dB (si mide valores de pico) cuando se le inyecta la señal de prueba por el sintonizador, bien por el circuito apropiado de éste, bien por la señal enviada por la emisora para la calibración.



que proviene del sintonizador ya lleva incluida la correspondiente corrección. En cambio, cuando la cinta así grabada se reproduzca en un magnetófono, *sí que hay que incluir la correspondiente corrección Dolby,* ya que la cinta ha sido grabada con ese condicionante.

De aquí podemos sacar algunas conclusiones de manejo práctico. Por ejemplo, no es necesario para la grabación que el magnetófono tenga la posibilidad de incluir la corrección del sistema Dolby. Sin embargo, la cinta hay que reproducirla en un equipo con corrección Dolby. Otro aspecto que también se obtiene es que la señal del sintonizador no puede introducirse directamente a un amplificador, sino que es necesario introducir previamente la corrección Dolby, si queremos que se conserve intacta la forma de la señal original.

Para efectuar grabaciones directamente desde un sintonizador que reciba señales en FM-Dolby es importante calibrar previamente el nivel de grabación del magnetófono, de forma que la máxima señal que admita el mismo se corresponda con la máxima señal que puede llegarle del sintonizador, que a su vez es la obtenida con la máxima desviación de frecuencia de la emisora.

Para realizar este ajuste, algunos sintonizadores incluyen un mando que pone en funcionamiento internamente un circuito que genera una señal de audio cuya amplitud se corresponde con la que se obtiene cuando un transmisor modula en las condiciones antes dichas. Así obtendremos artificialmente una valoración correcta de la máxima amplitud que puede esperarse que llegue del transmisor. Sólo queda ajustar los controles de grabación del magnetófono para que los medidores de nivel nos indiquen desviación máxima (correspondiente a 0 dB si el medidor es de valores de pico, o a + 3 dB si es de eficaces). En el caso de que nuestro sintoniza-



Para calibrar el máximo nivel que alcanzará una transmisión Dolby en FM, algunos sintonizadores incorporan un mando que genera una señal para situar los mandos del magnetófono en la posición adecuada.

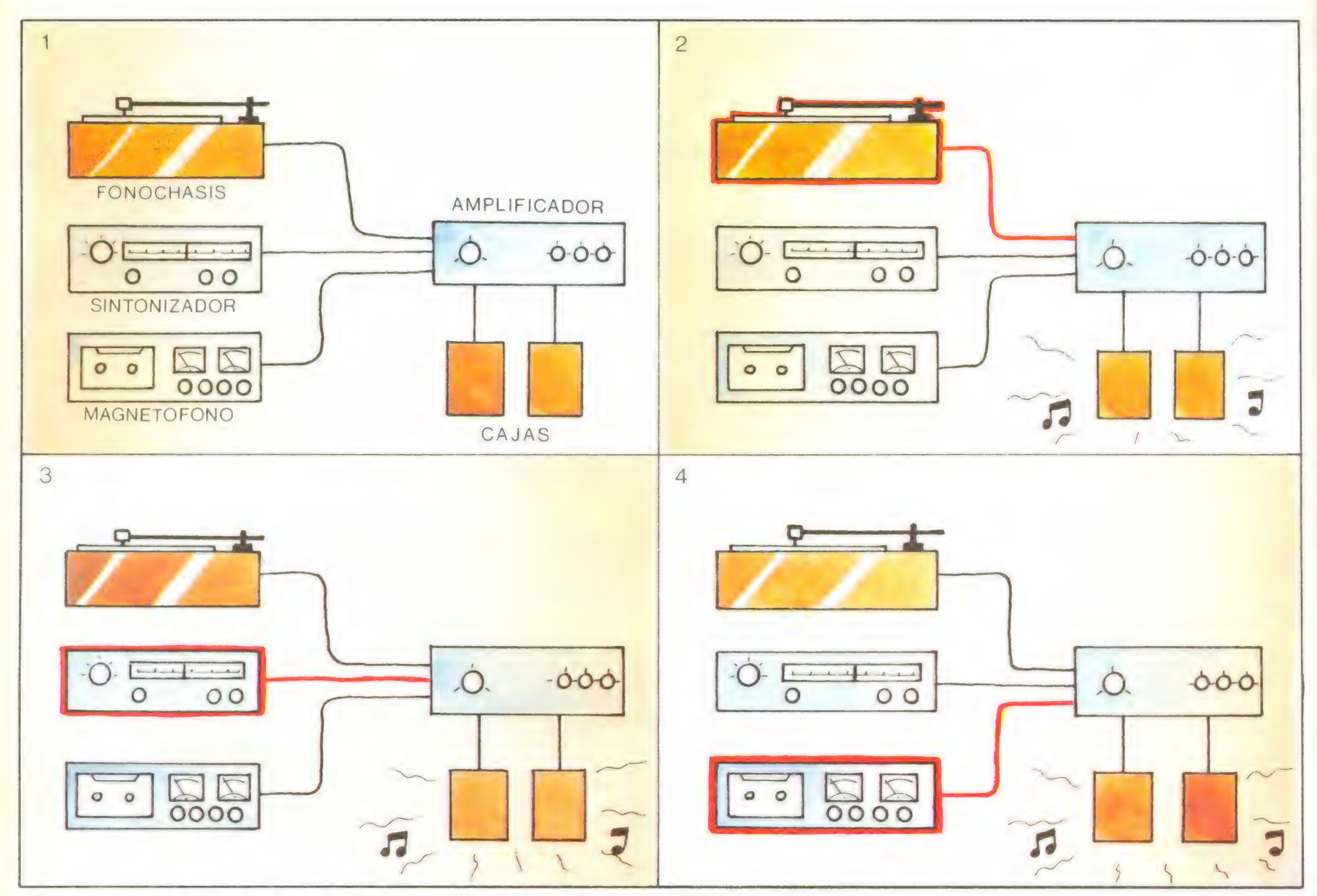


La señal de salida de un sintonizador debe inyectarse a la entrada correspondiente de un amplificador. Para ello se prevén los correspondientes conectores (que pueden ser del tipo DIN o CINCH).

Los puntos a que deben calibrarse los indicadores suelen venir marcados con el símbolo del sistema Dolby de reducción de ruido.







Forma correcta de realizar el ajuste de nivel. 1) Conéctense todos los equipos al amplificador. 2) Reproducir un disco cualquiera al nivel deseado. 3) Sintonizar luego una emisora, y ajustar el mando del nivel de salida del sintonizador para que el nivel de audición general sea el mismo que el obtenido con el fonochasis. 4) Repetir la operación anterior con la reproducción de una cinta, actuando ahora sobre el correspondiente mando en el magnetófono.

dor no posea el mando para efectuar tal *calibración* (notado como tal, o en inglés como «calibración tone» o «recording level check»), la emisora que vaya a comenzar una transmisión en FM-Dolby suele emitir previamente al programa sonoro en sí una señal equivalente a dicho tono de calibración, con el que podremos ajustar los mandos del magnetófono. Así tendremos la seguridad de que en ningún momento de la transmisión la señal va a superar el máximo permitido por el equipo grabador, lo que traería consigo posibles distorsiones. En la mayoría de los magnetófonos, este punto de nivel máximo al que hay que ajustar el medidor suele venir marcado con algún símbolo, corrientemente el mismo que se incluye en las cintas que se adquieren ya grabadas con la corrección Dolby incluida.

Las salidas del sintonizador

Como ya dijimos, la misión básica de un sintonizador es recuperar la información contenida en una onda de radio modulada. En la mayor parte de las ocasiones, esa información es un programa sonoro, musical o hablado. Pero el nivel de esta señal recuperada suele ser bajo, por lo que debe procederse a inyectarla a un amplificador que la lleve hasta el nivel adecuado a nuestros propósitos.

Así, un sintonizador poseerá al menos una salida para audio, si es monoaural, o dos (una para cada canal) si es estéreo. El nivel de señal de audio sobre estas salidas no suele ser inferior a 0,5 V eficaces, aunque esta cifra no es indicativa de la mayor o menor calidad de un equipo, que es detrás de lo que nosotros vamos. Simplemente hemos de tener en cuenta que la cifra de sensibilidad de entrada del preamplificador al que conectemos el sintonizador ha de ser igual o menor que la de salida de este último, con lo que aseguraremos que el conjunto va a trabajar en condiciones óptimas.

Cuando un mismo preamplificador se utiliza con varias fuentes de señal (por ejemplo, un sintonizador, un fonochasis, un par de magnetófonos, etc.), interesa que todas las fuentes entreguen una señal que haga trabajar al previo con el mismo nivel de salida, pues de otra forma habría que retocar el control de volumen cada vez que se cambiara de programa sonoro.

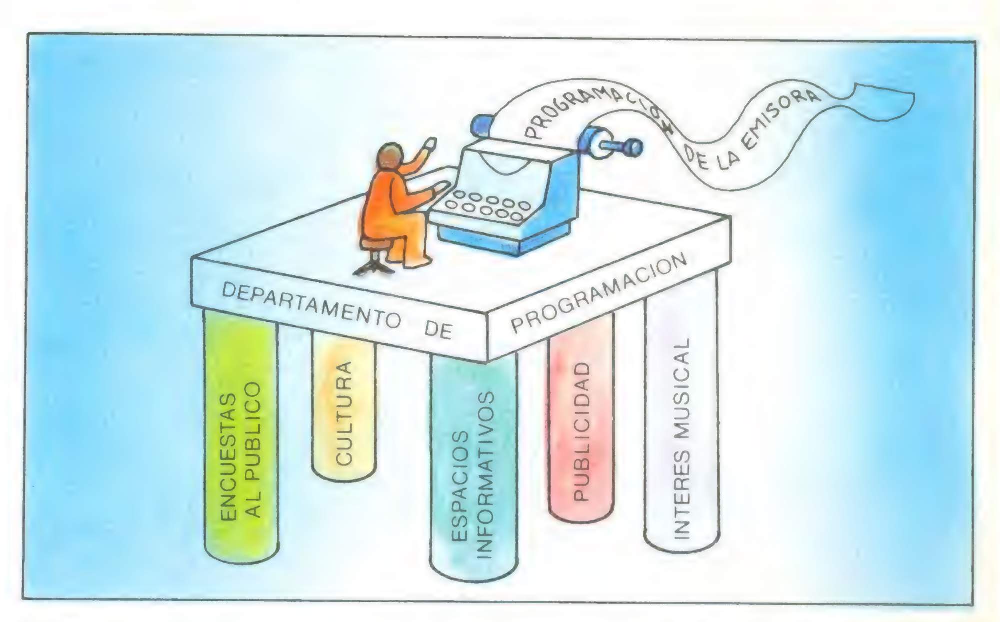
Para evitar esta incomodidad (sin mayores consecuencias, por otra parte) muchos equipos sintonizadores y magnetofónicos incorporan un mando que permite regular el nivel de salida al valor adecuado para que el equipo preamplificador trabaje en las condiciones anteriormente dichas. Dicho mando, marcado como *nivel de salida* (en inglés, «output level»), es un simple potenciómetro con el que el usuario puede variar el valor de la tensión eficaz de salida de su equipo. Habitualmente, en los sintonizadores suelen encontrarse dos salidas por canal, una de nivel fijo y otra de nivel ajustable, para que el aficionado elija la que más se adapte a su propia conveniencia. La diferencia entre ambas salidas (fija y ajustable) es exclusivamente de *amplitud* de señal, y no de *calidad*.

Las emisoras de radio

UNA de las fuentes de sonido más importantes en los últimos tiempos está constituida por las emisoras de radio. Muchas de ellas emiten continuamente, día y noche, ofreciendo un amplio espectro de programas, desde la música clásica a la última novedad discográfica de música moderna, y desde el más afamado serial hasta los comentarios a las corrientes filosóficas modernas, por lo que resulta fácil encontrar aquel espacio que va con nuestros propios gustos personales. Debido a la propia dinámica de la radio, es el medio que con mayor prontitud puede ofrecernos una noticia, una retransmisión deportiva o el concierto que, en el mismo instante de la escucha, se está dando en algún punto muy distante de nosotros.

Organización general

Puesto que la radio es un medio de comunicación dirigido a todos y fácilmente accesible por cualquiera, deben de existir también programas para todos los posibles oyentes. Esta es la misión que se le asigna al departamento de *programación,* y que es el que debe decidir el contenido y duración de los mismos. Para ello se recurre a multitud de medios, como encuestas directas, campañas de captación de interés, etc., que conforman un esquema general de la programación, que luego se desglosará en los espacios concretos dedicados a cada tema según el interés que presenten, el número de oyentes interesados a una hora determinada o el impacto publicitario que se prevea que tengan. Debido a la enorme influencia que puede tener la radio como medio de comunicación, muchos Estados se reservan para sí la explotación en exclusiva del mismo. En estos casos, no siempre existe publicidad radiada, proviniendo los fondos para el mantenimiento de las emisoras de los propios presupuestos del Estado. En otros casos, parte de los gastos de las mismas se cubren con ingresos procedentes de publicidad de todo tipo.

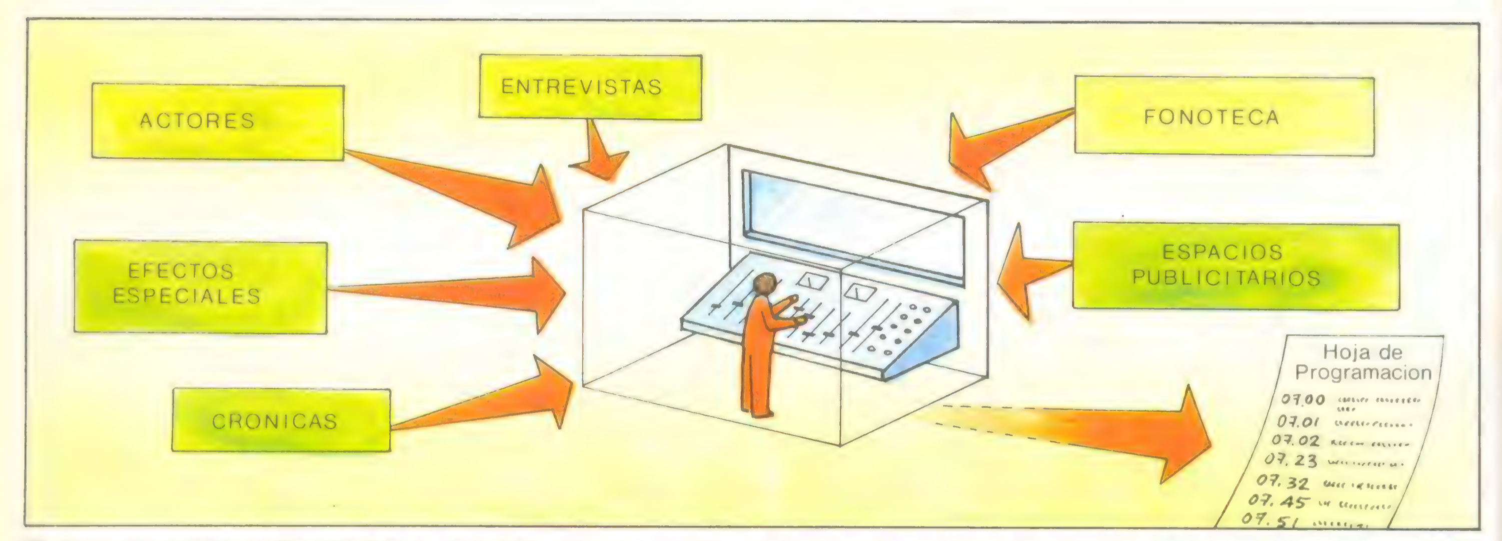


El departamento de programación se encarga de elaborar los espacios que transmitirá a diario la emisora. Para ello se tienen en cuenta distintos aspectos que configurarán los programas dedicados a cada tema.

Por el contrario, en otros países existe una total liberalización del medio, estando en manos privadas la dirección de las distintas emisoras. En otros casos, la publicidad constituye uno de los principales (en muchos casos, el único) capítulos de ingreso de las mismas. Existen finalmente solucio-

Mientras que en algunos países el Estado mantiene la programación de radio como un monopolio, en otros se comparte con los intereses privados.



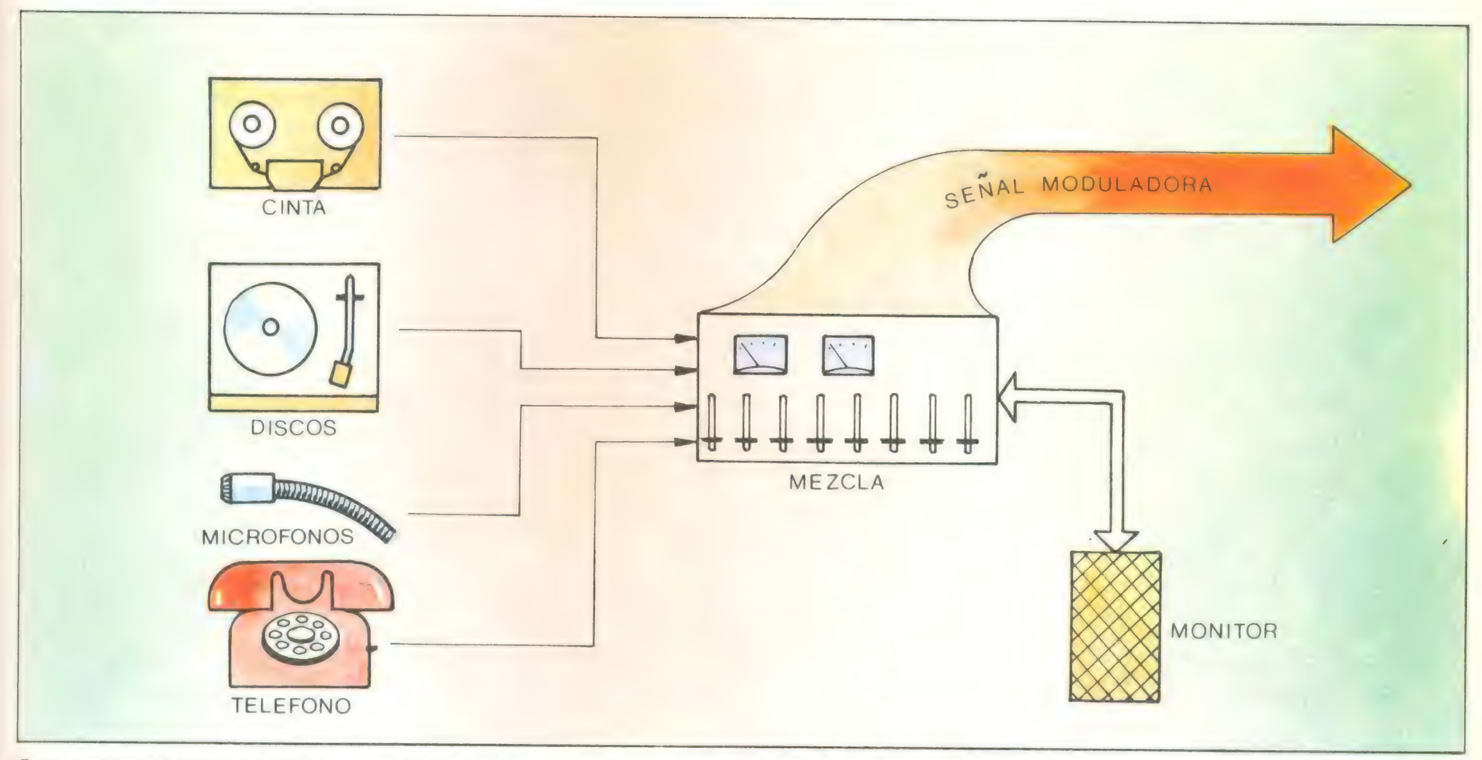


El departamento de realización lleva a la práctica las normas dictadas por programación. Para ello se vale de apoyos de distinto tipo (literario, musical, informativo, técnico, etc.); el resultado es la hoja de programación diaria.

Algunas emisoras pertenecen a una misma red o cadena de radiodifusión, emitiendo no sólo sus propios programas, sino también la programación que a determinadas horas del día se ofrece por toda la red.

nes intermedias, en las que el Estado mantiene un cierto número de emisoras (con o sin publicidad), pero permite la existencia de otras con carácter privado, que se automantienen con sus propios medios.

Aunque no existe una regla general aplicable a todas partes del mundo, hay una tendencia general hacia una utilización conjunta del medio por parte del Estado y de los intereses privados. Esta fórmula permite ofrecer, por un lado, aquellos programas que más interés presenten al público en general, que serán los principalmente respaldados por fuentes publicitarias (emisoras privadas), y por otro lado se evita la supresión de determinados programas que, aunque dirigidos a minorías, sea interesante su mantenimiento por razones de difusión de



Equipamiento básico de baja frecuencia de una emisora. El equipo central es la consola de mezcla, a la que se conectan las distintas fuentes sonoras empleadas. Un monitor permite supervisar la señal en cualquier punto del sistema.

cultura, de información, etc. (emisoras estatales).
Como fácilmente se comprende, la programación de una emisora va a verse muy influenciada según el carácter de la misma, razón por la que hemos insistido en este aspecto. De cualquier forma, el resultado final está constituido por una serie de programas que serán los que emita la emisora, y que es, a fin de cuentas, lo que ahora más nos interesa.
El departamento de programación se apoya a su vez en distintas asesorías dentro de la emisora, como pueden ser la musical, la literaria, la de noticias, etc., así como en colaboraciones fijas o esporádicas de carácter deportivo, político, técnico, etc. Igualmente, muchas emisoras poseen su propia plantilla de periodistas que recogen y elaboran las noticias más descollantes del momento, bien por medios propios o a través de la red de teletipos suministrada por distintas agencias.
Una vez decidida la programación a seguir, el paso siguiente consiste en la *realización* del mismo. Para ello deben de reunirse todos los medios y elementos necesarios para la puesta en práctica de un programa. Aquí cabe hacer una distinción importante entre los programas en directo y aquellos que se emiten previamente grabados.
Los programas en directo son, evidentemente, los que presentan mayores dificultades de realización, ya que deben combinarse todos los medios adecuadamente y con el menor número de fallos de coordinación posible, pues no resulta factible volver a repetirlos. Sin embargo, en muchas ocasiones no queda más solución que este tipo de realización, por el interés del programa en sí (por ejemplo, un concierto «en vivo»), por su oportunidad (la transmisión de una noticia en el momento en que se produce) o por razón del programa en sí (una participación de los oyentes en el mismo).
En ocasiones no queda más solución que proceder a la grabación y posterior emisión de un programa. Por ejemplo, el concierto motivo del programa se da cuando la emisora no emite, la noticia interesante se produce a la hora de emisión de otro pro-

Determinadas emisoras elaboran sus propios noticiarios, a base de la labor periodistica de su plantilla o con ayuda de la red de teletipos que sirven noticias.



CRONICA TELEFONICA

Línea Telefonica

CENTRALITA TELEFONICA

CENTRALITA EMISORA

-8 -6 -4

RETRANSMISION DEPORTIVA

Línea Microfónica

-8 -7

MEZCLADOR

ORQUESTA

Línea Microfónica

-10 -6

Para una transmisión de sonidos vocales puede valer tanto una línea telefónica como una microfónica, aunque esta última presenta algo más de calidad. Para una transmisión musical no deben emplearse este tipo de lineas, pues la calidad obtenida es muy pobre.



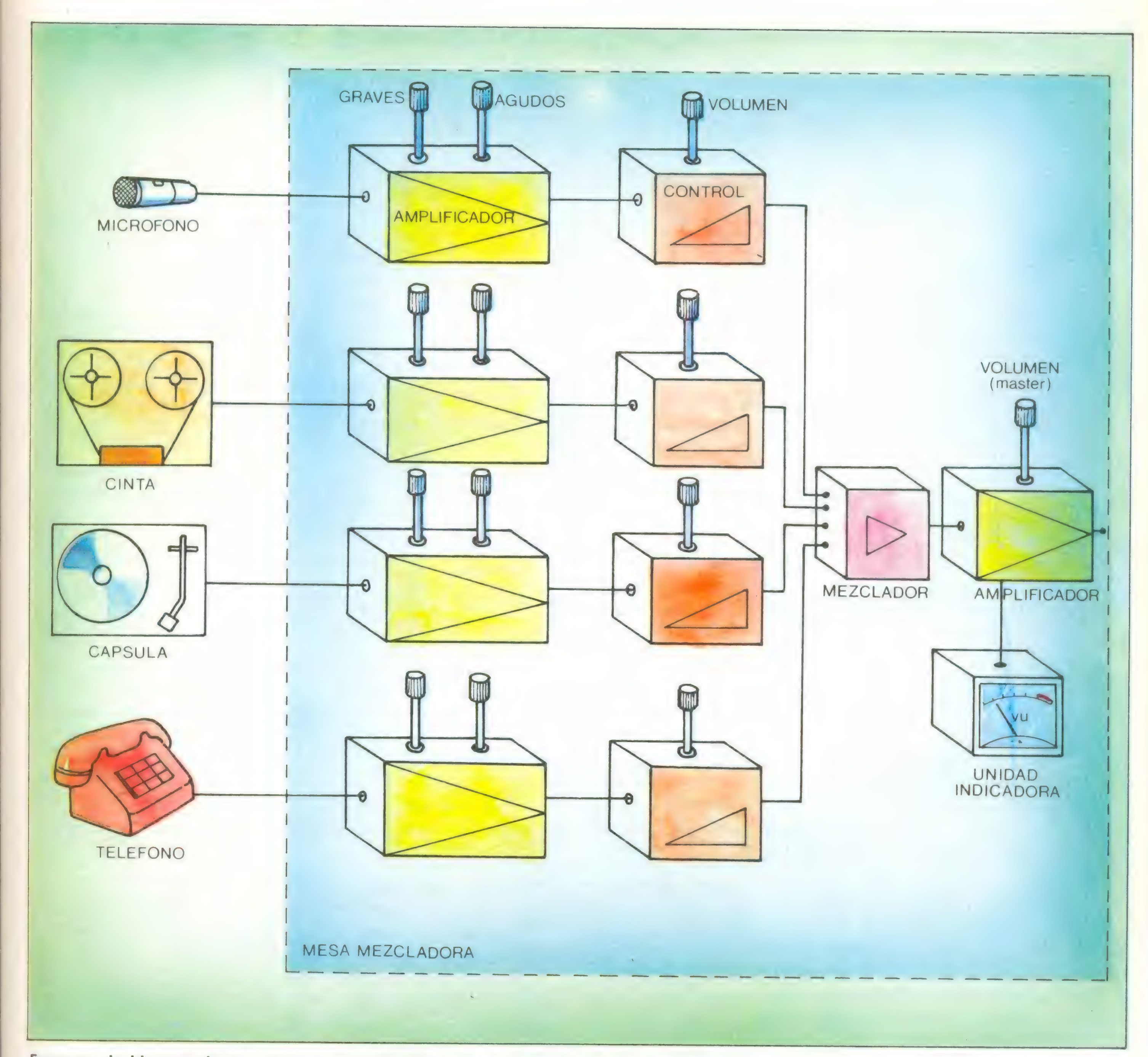


Aspecto de una consola de mezcla (foto de la izquierda). Se observan los controles deslizantes, con los que puede darse entrada a cualquiera de las señales que llegan a la mesa. Aspecto de una mesa de mezcla con amplias posibilidades de actuación (foto de la derecha).

grama, o la participación de una determinada persona en el programa no puede lograrse cuando el programa esté emitiéndose.

Pueden existir otras razones que aconsejen la grabación previa de un programa, como suele ser el caso de un serial o de una obra de teatro, un comentario crítico de algún acontecimiento ya pasado, un resumen de una entrevista, etc. Lo que sí es evidente es que la emisora debe contar con medios para la realización de este tipo de programas. Más adelante veremos qué medios son y cómo se utilizan.

Resultado del trabajo del departamento de programación es la hoja de servicios a realizar diariamente y en la que constan horas, grabaciones, programas en directo, retransmisiones, conexiones, etc., y que debe cumplirse escrupulosamente para conseguir un ensamblado perfecto de los programas, que den sensación de continuidad. En las emisoras comerciales el departamento de realización debe estar en estrecho contacto con el de publicidad, para que la emisión de los espacios dedicados a la misma se produzca con arreglo a los deseos de los anunciantes. En ocasiones, las distintas emisoras forman parte de una red o cadena con carácter nacio-



Esquema de bloques de una mesa de mezcla. Cada entrada puede ser tratada en calidad tonal y volumen por separado. Una unidad mezcladora y una de control maestro («master») se encuentran antes de la salida. También puede existir un indicador de nivel de salida (vúmetro).

nal o incluso internacional, y aunque puedan funcionar de manera independiente, se engloban organizativamente en un ente de orden superior. En este caso, no sólo se necesita contar con un cuadro propio de programación y realización en cada emisora, sino que el propio órgano central de la cadena (muchas veces localizado realmente en una de las emisoras de la misma) requiere el suyo propio para llevar a cabo aquellos programas en que todas o algunas de las emisoras participen.

Otras muchas personas intervienen con su trabajo en la emisora, aunque no queden englobadas directamente en programación o realización. Así, por ejemplo, podemos destacar los encargados de la discoteca (o fonoteca, que es un término más amplio), cuya misión es la de suministrar el material sonoro que un programa requiere; los locutores, que se encargan de llevar a cabo los comentarios, entrevistas y presentaciones; los actores, que interpretan los guiones especialmente escritos o adaptados para su emisión por radio; los cronistas, redactores y colaboradores periodísticos encargados de materializar las noticias de interés que se produzcan; y un largo etcétera, entre los que no debemos olvidarnos del personal administrativo capaz de hacer que la emisora funcione como una empresa más, con sus propios departamentos de personal, nóminas, etc.

Finalmente, y no porque sea el de menor importancia, sino porque va a ser tema principal, figura el departamento técnico, encargado de la puesta a punto y mantenimiento en perfecto estado de todo lo que constituye parte electrónica, y sin cuya aportación el programa que ya ha sido realizado no podría emitirse y llegar hasta nuestros oídos.

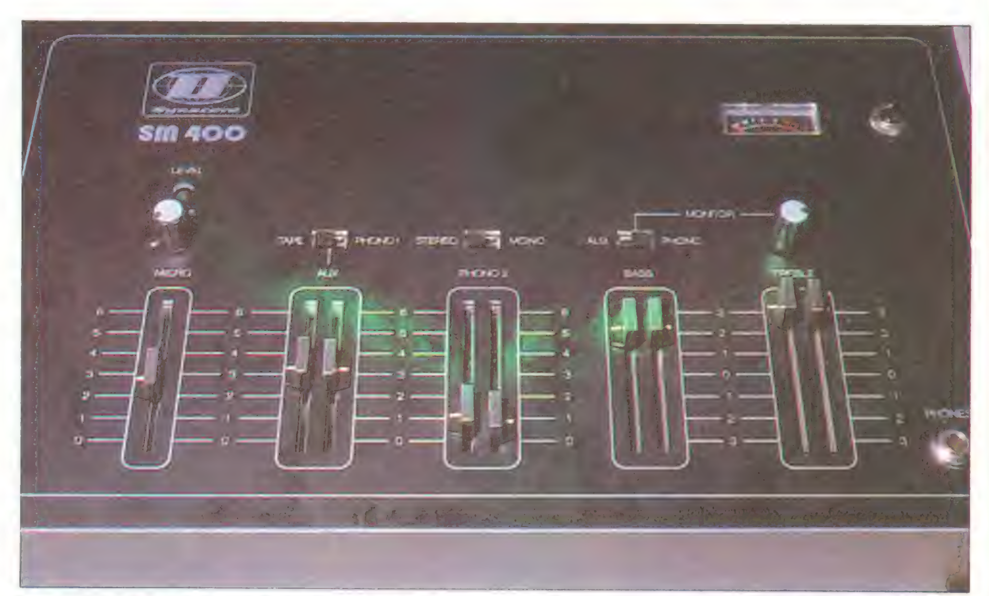
MICRO
CINTA
CAPSULA
TELEFONO
CONTROLES MONITORIZACION
MONITOR
AMPLIFICADOR

Puede controlarse la señal en cualquier punto del mezclador gracias al amplificador del monitor, a la entrada del cual se conecta la señal deseada por medio de adecuados interruptores.

Los equipos electrónicos

Dentro del equipamiento propio de una emisora de radio, existen dos grandes grupos muy claramente diferenciados: son los llamados de *baja frecuencia* y de *alta frecuencia*. Como fácilmente puede deducirse, los primeros son los que se encargan del manejo de la señal o «información» que se desea transmitir por radio, creando, por así decirlo, la señal moduladora. Los equipos del segundo grupo tienen por misión la formación, modulación y transmisión de la onda radio, una vez que se le ha incorporado la información que desea enviarse.

El material sonoro de baja frecuencia (señales de audio) tiene unos orígenes muy concretos que son ya conocidos por todos nuestros lectores. Fundamentalmente, proviene de cintas y discos como sonido almacenado (tanto el grabado en origen, como el producido por la propia emisora), así como el sonido en «vivo» recogido



Las consolas de mezcla estereofónicas no difieren mucho en su aspecto exterior de las monofónicas, como no sea por los indicadores de nivel de salida (dobles, uno por canal), o algunos mandos que se duplican para darle mayor versatilidad.

por micrófonos, líneas telefónicas y líneas microfónicas.

Por lo general, una emisora de radio mantiene contactos habituales con fuentes sonoras exteriores a la propia emisora. Por ejemplo, resulta corriente hoy día dar las señales horarias a través de la emisora, señales que

son suministradas por ciertos organismos; igual de corriente resulta la retransmisión de algún acontecimiento deportivo desde uno de los estadios de la ciudad donde se ubica la emisora, o la conexión con otra emisora para la transmisión de programas en común.

En todos estos casos citados en los que las conexiones resultan frecuentes y habituales, es muy conveniente que la emisora disponga de líneas de comunicación permanente con dichos puntos. Estas líneas suelen llamarse *microfónicas,* y son totalmente independientes de las líneas *telefónicas,* a las que también suele tenerse acceso a través de la propia centralita de la emisora. La ventaja de aquéllas frente a estas últimas reside en que la conexión es permanente (por ejemplo, no se encuentran sujetas a un posible bloqueo por saturación de las líneas telefónicas) y suelen ser de una calidad algo mejor que las telefónicas, pues no pasan por las centralitas y líneas de unión entre las mismas, como lo hacen las últimas, y en donde suele perderse algo de calidad.

Por lo demás, son líneas de conexión idénticas a las telefónicas, por lo que adolecen igual que éstas de una limitada banda de paso de frecuencias, no sirviendo, salvo casos excepcionales o cuando no haya otra solución, más que para sonidos vocales, no musicales; de aquí el nombre dado para ellas de «microfónicas».

Las líneas telefónicas se utilizan también muy a menudo por las emisoras para establecer contactos con determinados corresponsales cuando no existen líneas microfónicas disponibles, o para que los oyentes participen en determinados programas en los que también su voz se transmite por los equipos correspondientes. Ambos tipos de línea tienen acceso como fuentes de programas sonoros de la emisora.

Como resulta claro, se necesita algún «aparato» que permita seleccionar de qué fuente u origen va a venir el programa sonoro que se va a emitir. Dicho «aparato» es la *consola de mezcla* o *mezclador* (en inglés, «mixing board» o «mixer»), que resulta ser el verdadero corazón de la parte de baja frecuencia de cualquier emisora. El mezclador acepta en sus entradas cualquier tipo de señal de audio que se desee. Permite reproducir cualquiera de ellas con el nivel adecuado, bien independientemente o bien mezclando dos o más de las mismas, por ejemplo, música y comentarios superpuestos.







Antena transmisora y estudios no tienen por qué estar físicamente próximas. Aquí se muestra el caso de los estudios centrales de RNE en Madrid (Prado del Rey), y el grupo de antenas emisoras en la sierra del Guadarrama (Navacerrada).

Básicamente, una mesa de mezcla consta de un preamplificador para cada una de las entradas posibles. Normalmente puede actuarse sobre la calidad tonal de la señal, para lo que se incorporan los correspondientes mandos de graves y agudos. La sensibilidad e impedancia de cada una de las entradas es la adecuada al equipo que a ella se va a conectar. Así, por ejemplo, no será igual una entrada para cápsula magnética que para micrófono o para un equipo de cinta magnetofónica.

El objeto de estos preamplificadores es el de poder tener una señal de la calidad y el nivel deseados independientemente de su origen. Cada una de las entradas posee un mando de volumen, que es el que dicta qué cantidad de señal de la entrada correspondiente va a pasar a la etapa mezcladora propiamente dicha. Una vez fijado el volumen sonoro de la o las entradas que se deseen, las señales elegidas se pasan a una nueva etapa mezcladora-amplificadora, que también suele tener sus propios mandos de control de tonalidad, que ahora actúan sobre el conjunto de señales que dicho amplificador maneja (que es la mezcla de las previamente seleccionadas). Esta etapa suele conocerse con el nombre de *principal* o *maestra* (en inglés, «master»), ya que por ella pasa la señal procesada. El mando de volumen sonoro de dicha etapa nos dará el de la señal de salida de la mesa de mezcla.

Este nivel de salida no suele ser muy elevado, pues tan sólo se requiere que la mesa efectúe la correspondiente selección y/o mezcla de las entradas, y no que dé una potencia considerable de salida. En este sentido, es simplemente un previo, al que no debe exigírsele otra misión que la ya comentada.

No obstante, a la persona que está manejando la mesa puede interesarle en un momento dado comprobar la calidad o volumen de la señal de salida o de una cualquiera de las entradas. Para ello, los mezcladores suelen incorporar un pequeño amplificador, independiente de todos los hasta ahora comentados, que permite reproducir la señal deseada, bien a través de unos auriculares, o bien por medio de la correspondiente caja acústica. La selección de la señal a reproducir por el *monitor* (este es el nombre que recibe esta parte de la mesa de mezcla) suele efectuarse a base de interruptores que llevan a dicho amplificador la señal deseada. Esta operación es to-

	DISTANCIA: 2 Km	10 Km	50 Km
HILO TELEFONICO	10 / 0	10 / 0	10 / 0
CABLE COAXIAL	10 / 0	10 / 0	10 / 0
RADIO ENLACE	10 / 0	10 / 0	10 / 0

Aquí se muestran los costes y calidades comparativas de tres tipos de enlace, a tres distancias distintas. Las monedas representan costes, y los termómetros, calidades.

talmente independiente de las otras ya descritas que efectúa la mesa, no afectando para nada a la señal de salida (calidad o volumen) y sirviendo únicamente como prueba acústica de qué señal se tiene en el punto deseado.

Otros efectos se pueden conseguir también con la mesa de mezcla, aunque ahora no los describiremos, pues con lo hasta aquí dicho hay suficiente para el aspecto que nos interesa. Lo verdaderamente interesante ya está dicho, y es que la señal de salida del mezclador es la señal moduladora de la onda de radio. Naturalmente, si las señales a tratar son estereofónicas porque así vaya a ser la transmisión radio, el equipo interno de la consola de mezcla se duplica, aunque por lo general no suele existir duplicación de mandos exteriores, gobernándose ambos canales con el mismo control.

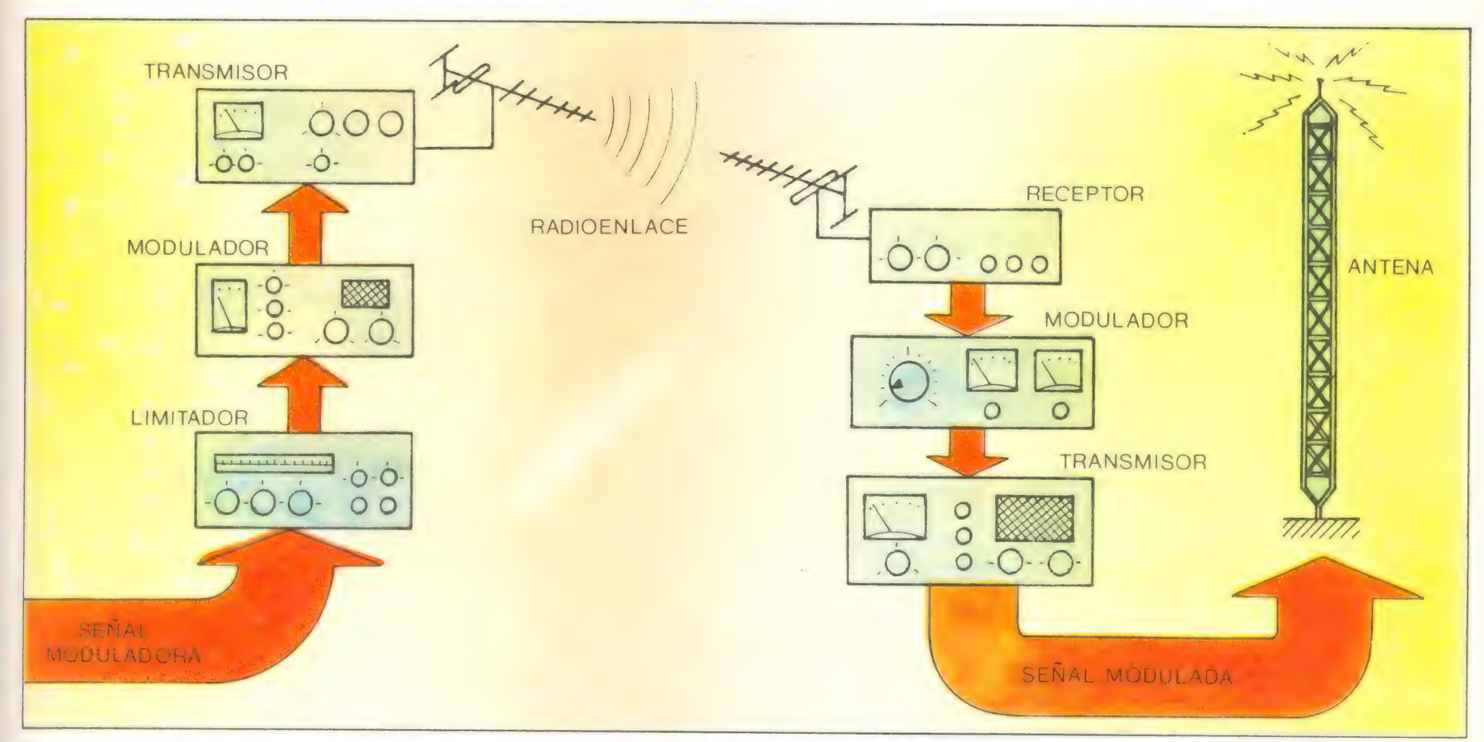
La alta frecuencia

Los equipos que componen esta parte de la emisora son los encargados de radiar al espacio la información elaborada previamente por la parte de baja frecuencia. Cuando la potencia puesta en antena no es demasiado elevada, o bien la localización geográfica del edificio e instalaciones de la emisora es buena, la parte de alta frecuencia se encuentra físicamente próxima al resto del equipo.

Pero no siempre ocurre así. Una elevada potencia de transmisión puede hacer aconsejable separar físicamente la antena emisora del resto de las instalaciones, pues es fácil que se produzcan interferencias o realimentaciones extrañas muy difíciles de suprimir y en ningún caso deseables. Otras veces la antena transmisora interesa que esté localizada en algún paraje concreto por distintas razones (mayor alcance o cobertura, facilidad de instalación, interferencia a otras instalaciones próximas, etc.), lugar que puede ser inadecuado para los estudios (lejanía del centro urbano, difícil acceso, etc.). En estos casos, junto a la antena transmisora se encuentran tan sólo los equipos de alta frecuencia, así como alguna instalación auxiliar tales como tomas de co-



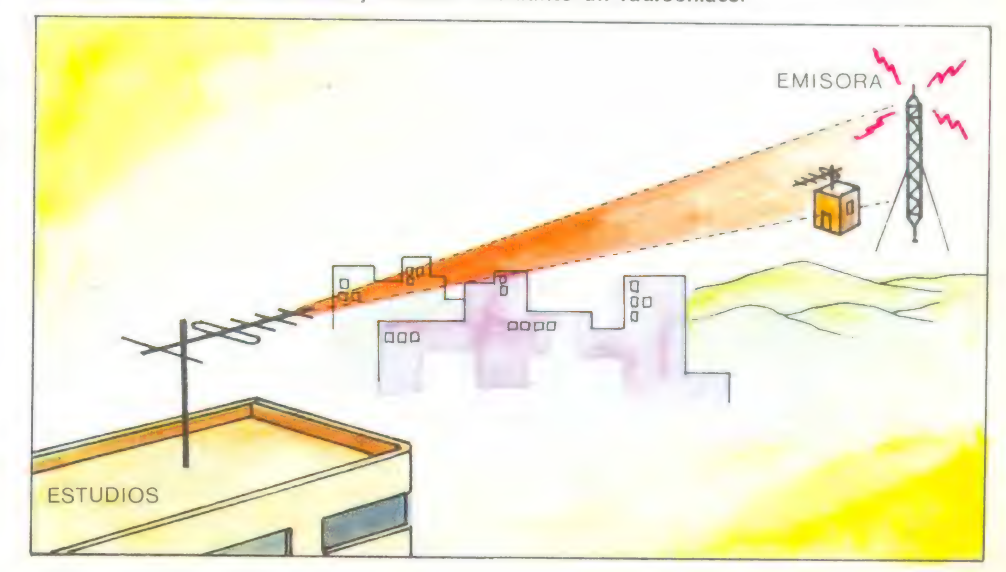
Aspecto del equipo transmisor de un radioenlace.

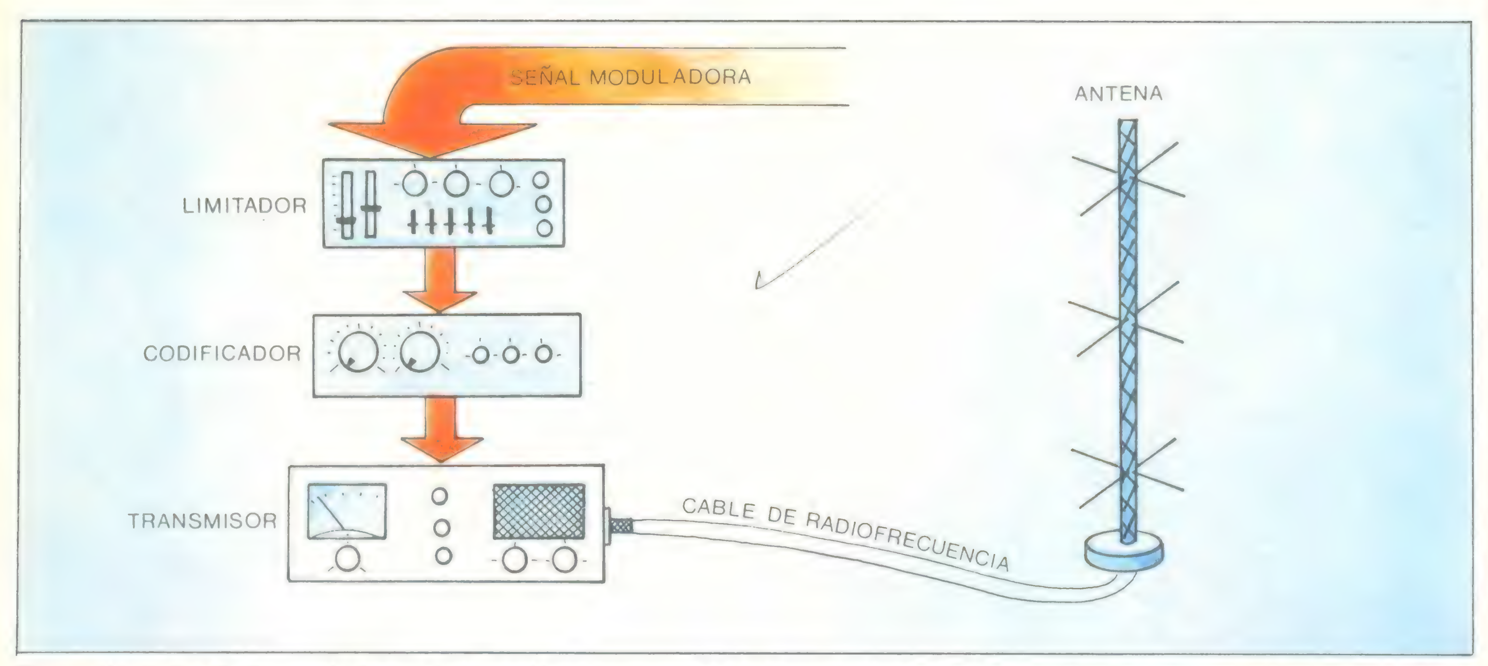


Equipamiento de alta frecuencia de una emisora con radioenlace. La señal moduladora se lleva a un pequeño transmisor de radio en FM, que la transporta por el espacio hasta las instalaciones emisoras, donde se extrae la información para modular a su vez a la señal de radiodifusión.

rriente eléctrica, algún equipo de control o unas pequeñas instalaciones de baja frecuencia por si fallara el equipo central. Los estudios centrales suelen encontrarse en el casco urbano, o en instalaciones que se consideren apropiadas, pero tampoco demasiado lejanos (a lo sumo, algunas decenas de kilómetros); es por esta razón que se necesita entre ambos puntos un enlace que lleve la señal de baja frecuencia (producida en los estudios) hasta las instalaciones del transmisor.
En principio, podría pensarse que la solución estaría en un cable telefónico que uniera ambos puntos. Sin embargo, este procedimiento no resulta aconsejable, en particular cuando la señal va destinada a ser emitida en modulación de frecuencia (FM). La razón es muy simple, y se fundamenta en la pobre respuesta en frecuencia que presentan los cables telefónicos, que tan sólo están preparados para poder transportar señales de frecuencias vocales; de hecho, raramente se alcanzan anchos de banda superiores a unos 3 ó 4 KHz, lo que resulta totalmente insuficiente para un sonido de calidad.
Pueden presentarse además otros inconvenientes: averías en el cable o en la centralita, pérdidas de señal debidas a la humedad, facilidad de captación de interferencias, exposición a sabotajes, etc. Por otro lado, la instalación de un cable de suficiente calidad para llevar la información hasta el transmisor resultaría demasiado onerosa. Por estas razones se recurre al enlace entre ambos puntos por medio de ondas de radio, esto es, con un *radioenlace*. Este método constituye un medio seguro, sin interferencias ni posibilidad de manipulación por extraños, y de la calidad que sea necesaria.
Parece una paradoja recurrir a una transmisión de radio para llevar hasta unas instalaciones emisoras una señal de audio. En realidad, un radioenlace no funciona igual que una emisora de radiodifusión. En esta última se pretende que las señales transmitidas lleguen lo más lejos posible y en todas direcciones. Con un radioenlace sólo se pretende unir dos puntos concretos (una distancia fija), que la calidad de la unión sea la suficiente para los propósitos perseguidos (lo que puede conseguirse con una potencia de emisión determinada) y además interesa que sea captada nada más que por el equipo situado en las instalaciones que albergan el transmisor de radiodifusión.
Por todas estas razones, se recurre al empleo de antenas de transmisión y recepción muy directivas, con lo que se consigue una elevada inmunidad contra interferencias y un enlace se-

Comunicación entre estudios y emisora mediante un radioenlace.





Equipamiento de alta frecuencia de una emisora sin radioenlace. La señal moduladora se lleva a través de los equipos que conforman la onda de radio. El paso final se une a la antena para que la onda pueda ser radiada.

MESA ESTEREO
LIMITADOR DCHO
ANTENA
LIMITADOR IZQDO
CODIFICADOR
CINTA
CAPSULA
EXCITADOR
AMPLIFICADOR
MICRO

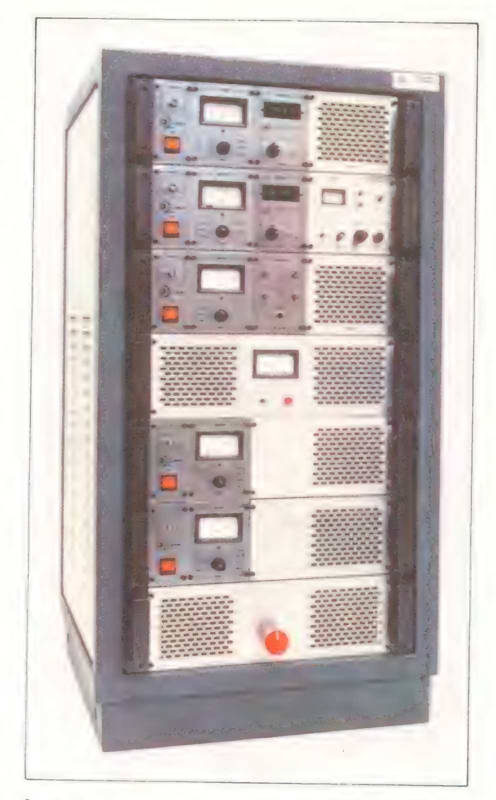
Una emisora de FM estereofónica puede constar tan sólo de los equipos aquí mostrados. Una pieza básica es el codificador, que transforma dos canales estereofónicos en una sola señal (la múltiplex), que es la que transmite por la antena.

guro independientemente de las condiciones atmósfericas. Además, se utiliza la modulación de frecuencia para el radioenlace, con lo que se obtiene una alta calidad de transmisión. Creemos conveniente recalcar que el hecho de emplear la modulación de frecuencia para el radioenlace es totalmente independiente de que la emisora de radiodifusión lo sea en AM o en FM, ya que *sólo* se emplea para efectos del enlace estudio-emisora. El lado receptor del radioenlace extrae la información de audio, que es la razón de existencia del mismo. Dicha

señal de audio es la misma de salida de la consola de mezcla, y es la que se emplea para modular (en frecuencia o amplitud, según la naturaleza de la estación) la transmisión de la emisora. La banda de trabajo de los radioenlaces no tiene por qué coincidir con alguna de las bandas de radiodifusión. Este aspecto depende de la legislación existente en cada país en particular. Cuando no se utiliza la misma banda de radiodifusión en FM para el radioenlace (88-108 MHz), se trabaja en bandas asignadas internacionalmente para estos menesteres (60-70 MHz, 140-180 MHz y 400-470 MHz) y con potencias relativamente modestas (como máximo 100 W), suficientes para cubrir la distancia requerida.
Cuando el transmisor principal se encuentra próximo al resto de las instalaciones, el radioenlace desaparece, aplicándose la señal de la mesa de mezcla directamente al transmisor, la salida del cual se lleva a la antena por intermedio de la línea de transmisión adecuada.

El transmisor principal

Aunque los equipos de alta frecuencia no entran plenamente en el objetivo de nuestro tema central, creemos interesante hacer una somera descripción del funcionamiento general de los mismos.
Una vez que la señal de audio llega al equipo transmisor, bien directamente o por radioenlace, lo primero que suele hacerse es pasarla por un equipo *limitador,* cuya misión es la de adecuar el nivel y banda de paso en frecuencia del audio a los máximos permitidos, para evitar posibles distorsiones y/o interferencias a emisoras próximas.



Los equipos emisores modernos son bastante compactos. Aquí se muestra un armario que puede alojar un transmisor de FM de 1 kilovatio de potencia en antena. Sus dimensiones aproximadas son de 130 × 70 × 70 centímetros.



Las válvulas de salida de potencia de una emisora de radio presentan un aspecto distinto de las normales, debido a que durante su funcionamiento disipan gran cantidad de calor, siendo obligatoria su refrigeración.

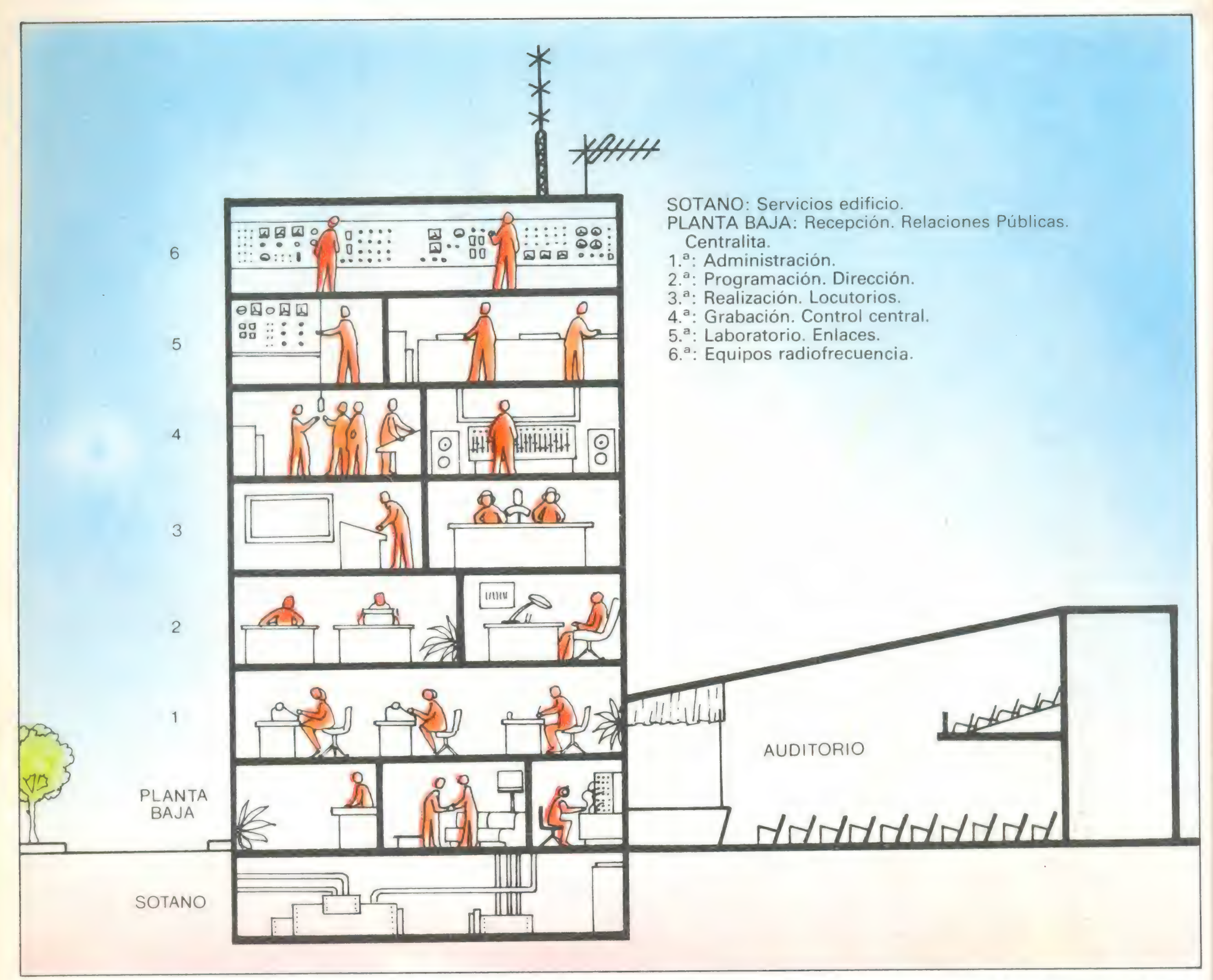
Cuando la emisora es de FM estereofónica, se aplica un limitador para cada canal. Después, las señales de cada canal se aplican a un *codificador,* a las que somete el proceso ya descrito anteriormente para la formación de la señal multiplex, que para los efectos del transmisor tiene igual consideración que la proveniente de la mesa de mezcla directamente, es decir, la señal moduladora de audio.
El paso siguiente es el de la modulación de la onda portadora generada en el propio transmisor, bien en amplitud o en frecuencia. La señal ya modulada se amplifica hasta el nivel requerido por un *excitador,* cuya salida se lleva hasta el *amplificador final* que suministra la potencia de radiofrecuencia que se lleva finalmente hasta la antena. Las misiones de estos dos últimos equipos guardan total similitud con los previos y etapas de potencia de las que ya hablamos.
Para potencias en antena no muy elevadas (hasta 1 Kw) los equipos finales suelen ser semiconductores (transistorizados), y para potencias altas se

Aspecto de distintas antenas de emisión en las bandas de radiodifusión. Su forma depende de la frecuencia de transmisión y del diagrama de directividad que quiera obtenerse.









La figura muestra cuál podría ser la distribución de los distintos departamentos necesarios para el funcionamiento de una emisora de radio.

siguen utilizando casi exclusivamente equipos con válvulas. Las válvulas electrónicas empleadas para estos menesteres son muy peculiares, pues deben manejar tensiones muy altas (de varios miles de voltios) y corrientes elevadas (varios amperios). Por esta razón su calentamiento es muy fuerte, y deben emplearse sistemas de refrigeración forzada, bien por corrientes de aire o incluso con agua o aceite que se hacen circular entre las aletas refrigeradoras para conseguir su enfriamiento.

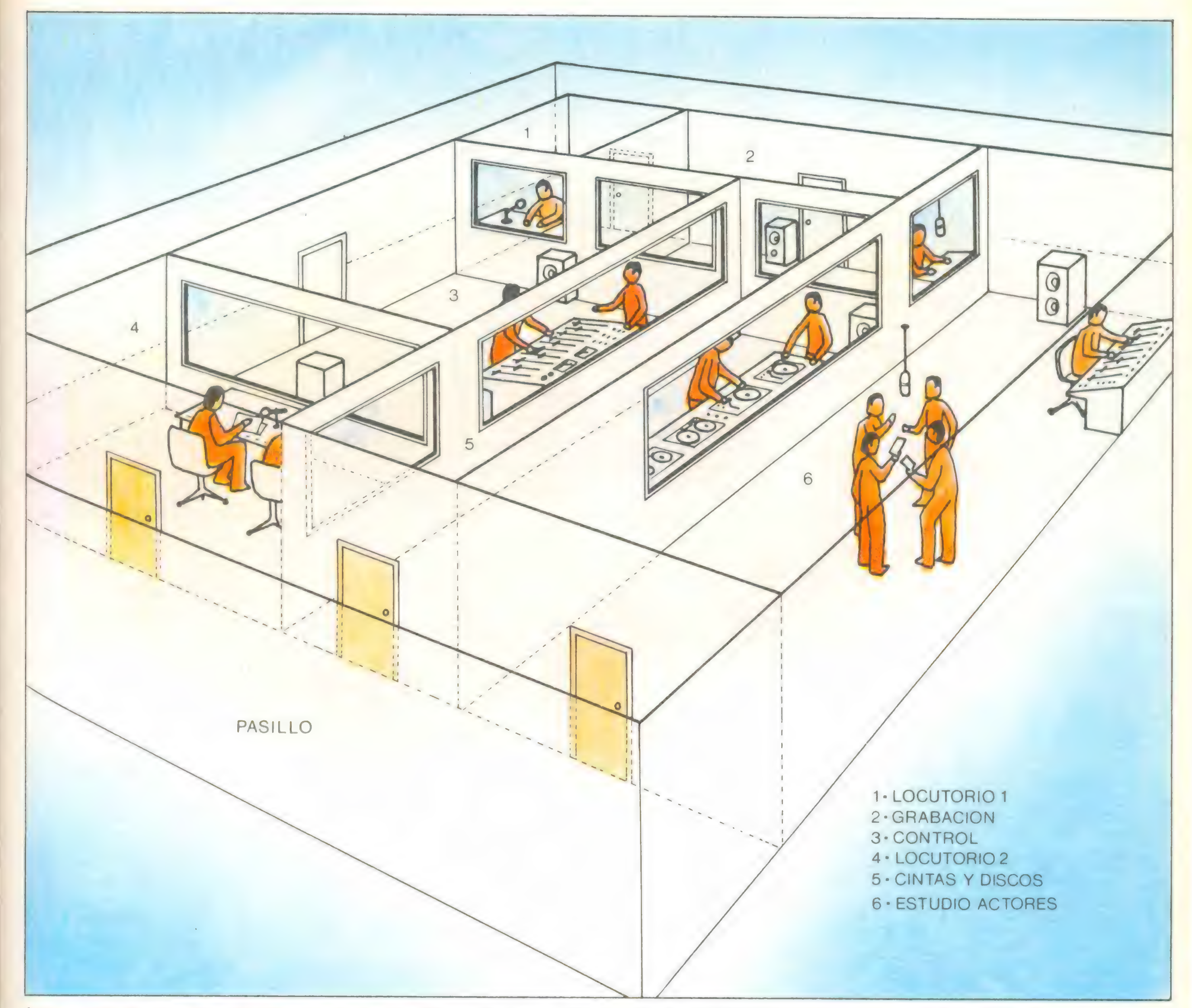
De aquí pasa ya la señal hasta la antena, cuya forma física puede variar mucho según la banda en que trabaje la emisora. Para OM y OL la forma de antena más corriente es la de un mástil o torreta dispuesta verticalmente sobre el suelo y aislada de éste, con lo que se consigue una característica de radiación omnidireccional. La misma torreta es la que hace las veces de antena. Cuando la emisora transmite en OC la antena puede adoptar muy distintas formas, desde un simple hilo horizontal, hasta una complicada red de conductores dispuestos entre dos o más torres metálicas que hacen las veces de soporte (sin que sean radiadores propiamente dichos), pasando por antenas en forma de V, rómbicas o piramidales. Todo depende del diagrama de directividad que se desee conseguir.

En cuanto a las antenas para la banda de FM, suelen estar formadas por un conjunto de dipolos dispuestos de forma que la radiación del conjunto sea omnidireccional. En esta banda es fundamental que el conjunto radiante se encuentre lo más elevado posible sobre el terreno circundante, para conseguir mayor alcance. Es por esta razón que suelen situarse sobre edificios elevados o sobre promontorios geográficos importantes, incluso ayudándose de elevados mástiles, en lo alto de los que se sitúan dichos elementos.

Los estudios

Ya tenemos una idea esquemática de cómo funciona una emisora de radio. Pero ¿cómo puede materializarse?, ¿cómo es físicamente hablando? La infraestructura (edificaciones, salas de control, auditorios, etc.) que alberga todo lo relacionado con la baja frecuencia suele conocerse con el nombre de *estudios de la emisora*.

Ya dijimos antes que dos fuentes importantes de sonido para una emisora eran las líneas telefónicas y microfónicas. Resulta corriente que una emisora de radio disponga de una centra-



Aquí se muestra una idea de cómo podría ser un estudio de radio, con su control central, locutorios, sala de grabación, consolas de cintas y discos, así como un estudio anexo para una representación radiofónica de una obra de teatro, novela, etc.

lita telefónica a través de la cual se canalicen las llamadas al y del exterior. Puede disponerse que algunas de las extensiones a ella conectadas vayan a parar a aquellas mesas de mezcla donde resulte interesante tenerlas por si es necesario utilizarlas.

Igualmente, suele disponerse de una «centralita microfónica», adonde lleguen, y de donde salgan todas aquellas conexiones que requieran tenerse de forma permanente con lugares exteriores a la emisora. A su vez, desde esta «centralita» pueden llevarse sendas conexiones a aquellos lugares (por lo general, mesas de mezcla) donde pueda requerirse su presencia, bien para recibir programas desde el exterior, o bien para enviar los propios programas producidos en la emisora a otros lugares (por ejemplo, otra emisora de la misma cadena, para hacer programas simultáneos).

Puesto que la mesa de mezcla es el corazón del sistema de baja frecuencia, su ubicación se corresponde con la sala más importante: el llamado *control,* donde el realizador (a veces asistido por un ayudante) maneja los equipos para que el programa salga a antena como lo dicta la correspondiente hoja de programación.

El control es una habitación que no necesita ser muy grande (depende mucho del tamaño físico de la mesa de mezcla, y ésta a su vez de la importancia de los programas a controlar y de los medios a manejar). Las paredes suelen tener grandes ventanales, que comunican con las habitaciones adyacentes, donde suelen encontrarse los locutorios (donde se leen los comentarios o noticias que se emitirán), las consolas de material grabado (cintas y discos) e incluso una sala para que varios actores interpreten un guión, etc.

Las paredes y techo de todas estas salas (locutorios, control, etc.) deben estar revestidas de material absorbente de sonido, a excepción, naturalmente, de las superficies acristaladas. Esto se hace para evitar que el sonido del exterior o el ruido propio del movimiento de las personas y cosas dentro de los estudios, pueda ser captado por los micrófonos y transmitido por la emisora, lo que suele causar un murmullo de fondo, nada agradable.



Al igual que la centralita telefónica, en una emisora no puede faltar la centralita microfónica, a donde llega y de donde salen los contactos fijos de dicha emisora con puntos exteriores a la misma.



Aquí se observa el control de una emisora con los distintos equipos de que consta. Al fondo, un locutorio.

FONOCHASIS 1
FONOCHASIS 2
CINTA 1
CINTA 2
MICRO CONTROL
MONITOR
MONITOR CONTROL
LOCUTORIO 1
LOCUTORIO 2
CONSOLA DE MEZCLA
TELEFONO
LINEAS MICROFONICAS

Ejemplo del equipamiento de baja frecuencia de una emisora de radio. Es conveniente contar, al menos, con el equipo aquí mostrado para poder realizar adecuadamente todo tipo de programas.

Los acristalamientos son útiles para que el realizador pueda estar visualmente en contacto con los otros protagonistas del programa, y puedan hacerse señas entre sí para coordinar el trabajo de todos. No es el contacto visual el único que existe entre ellos, sino que la consola de mezcla suele también incorporar un micrófono con

el que el realizador puede comunicar órdenes o instrucciones a los otros componentes del equipo.

Esta línea microfónica suele denominarse *línea* o *de órdenes* o *de servicio,* pues es a través de ella que puede coordinarse la entrada en el programa de otros componentes, como, por ejemplo, un locutor en el exterior de la emisora, o para establecer el contacto oportuno con otras emisoras que estén realizando un programa en cadena. Dicha línea de órdenes es totalmente independiente de la que lleva el programa sonoro en sí, y en la gran mayoría de los casos se trata de una línea que marcha paralela a la principal (ya sea para comunicación con un locutorio o con la consola de otra emisora).

Deberá disponerse de, por lo menos, un par de aparatos magnetofónicos, un par de fonochasis y uno o dos locutorios con sus respectivos micrófonos, aparte de las líneas telefónicas y microfónicas a las que pueda ser necesario tener acceso en un momento determinado. Además, en el control es conveniente disponer de un monitor a través del cual el realizador escuche el programa que se envía al transmisor, y otro con el que poder recibir el sonido de cualquiera de las señales que llegan a la mesa de mezcla (sean llevadas al transmisor o no).

Para evitar que cualquier ruido no deseado pueda salir a antena cuando un micrófono se encuentra «abierto» (es decir, que el sonido que capta se transmita), así como para que el locutor sepa el momento exacto en que su voz va a salir al aire, es corriente que se encienda algún indicador luminoso que señalice dicha condición. Igualmente se suele encender otro indicador a la entrada del locutorio y/o del estudio, para que cualquier persona ajena a la realización del programa sepa que debe mantener silencio.

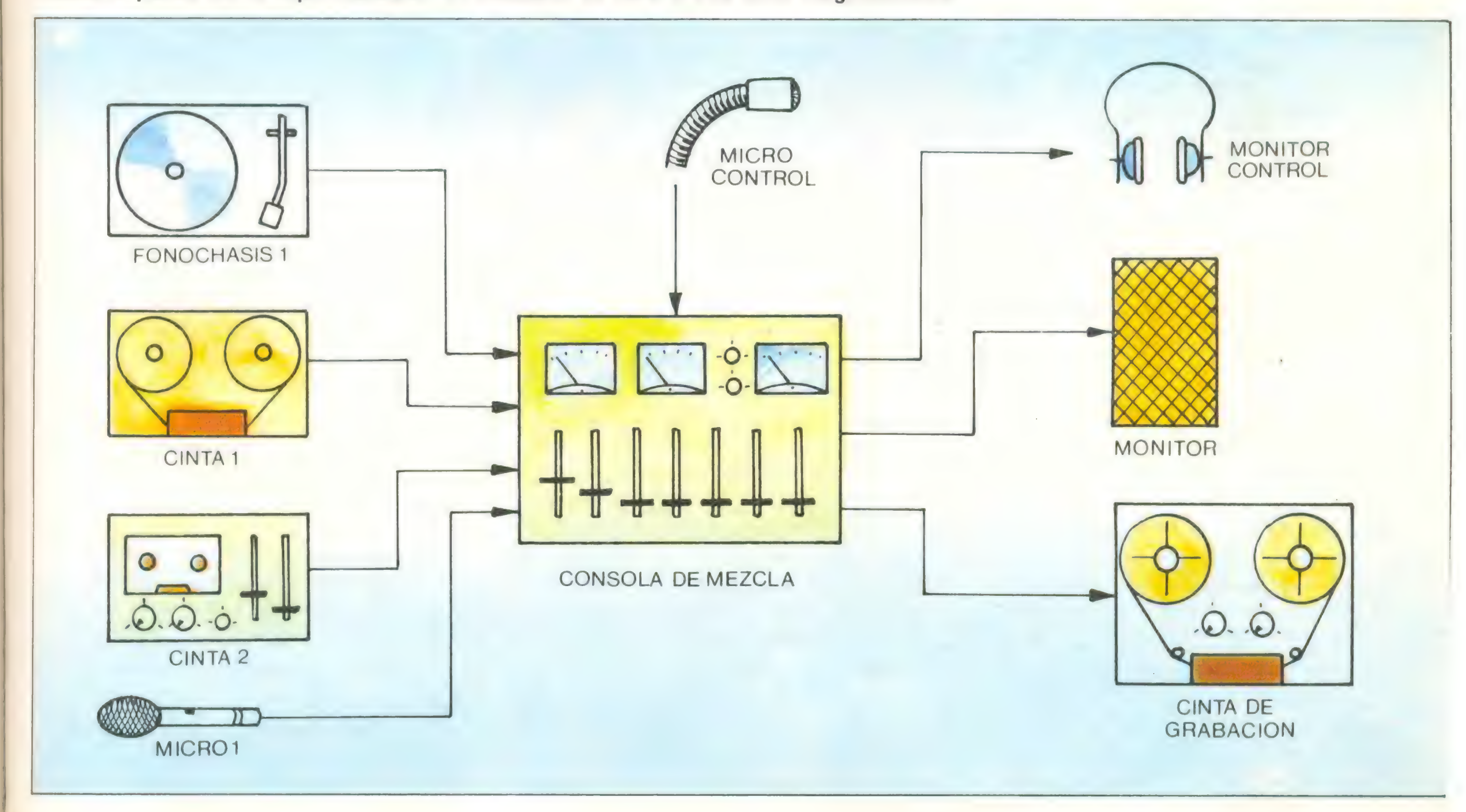


Algunas emisoras modestas combinan en una sola sala el control, locutorio y consolas de mezcla, grabación, etc. La misma persona que realiza el programa hace las veces de locutor-presentador.

Los programas grabados

Ya hemos comentado anteriormente la necesidad de este tipo de programación. La preparación de los mismos

Ejemplo del equipamiento de una sala de grabación o preparación de programas. Cuando se trata de realizar un programa grabado, el equipo necesario puede ser el aquí mostrado. El resultado se lleva a una cinta magnetofónica.







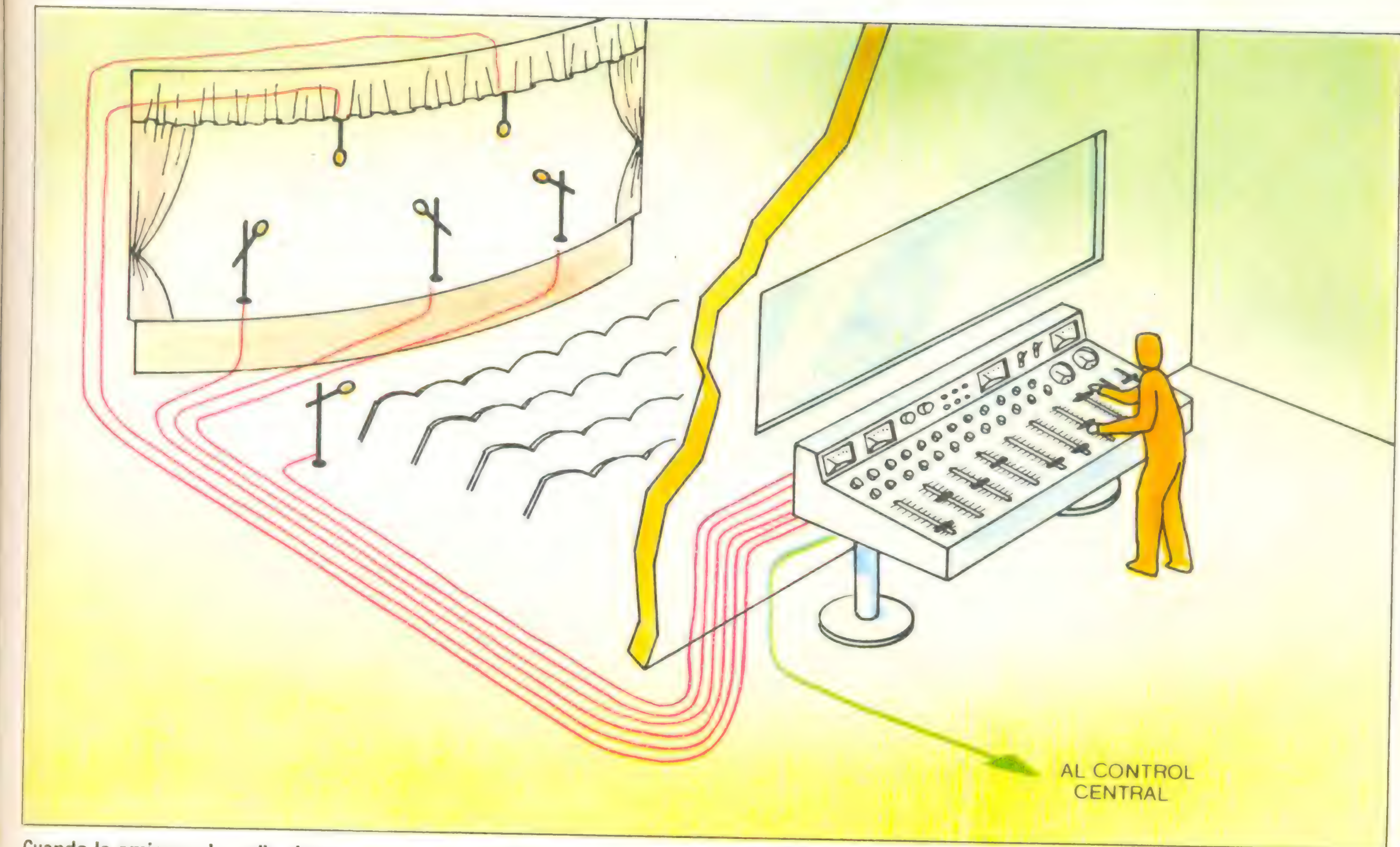
Algunas mesas de mezcla incorporan lectores automáticos de cintas de cassette («jingles machines»), que se ponen en marcha con sólo mover el cursor del volumen del canal correspondiente, facilitando la labor del realizador del programa.

ESTUDIOS DE GRABACION
1
2
DEPORTIVO
MUSICAL
RECEPTOR
RECEPTOR
EQUIPO MOVIL
EQUIPO MOVIL
LOCUTOR FIJO
REPORTERO MOVIL
SONIDO AMBIENTE
REALIZADOR DEPORTIVO
REALIZADOR MUSICAL
CUERDA
PERCUSION
PIANO
AIRE

Grabación de programas desde el exterior de la emisora. Cuando algún acontecimiento importante así lo requiera, pueden desplazarse los equipos móviles, capaces de realizar su propio programa «in situ». El resultado se lleva a la emisora central por medio de un radioenlace u otro medio adecuado (línea microfónica o telefónica), donde queda grabado para su posterior procesamiento.

puede hacerse en el mismo estudio principal que acabamos de ver, aunque por lo general se tienen otras salas destinadas para estos menesteres, en donde pueden estarse preparando otros programas mientras se emite la programación normal.

Básicamente, la sala o estudio para grabación puede constar de los mismos elementos que antes dijimos, aunque por lo general están equipados más modestamente. La razón es



Cuando la emisora de radio tiene su propio auditorio, existe un control que puede realizar su propio programa (el desarrollado en la sala). La salida de la mesa es otra señal con la que puede contar el control central de la emisora.

que cuando se realiza un programa en directo, no puede permitirse el fallo de ninguno de los equipos, o incluso puede requerirse el empleo de dos o tres de ellos para un mismo programa, por lo que suelen estar duplicados o triplicados, según las necesidades. Para una grabación no se requiere este grabado de precisión, por lo que suele disponerse de menor equipamiento.

Así, pues, un estudio de grabación o de preparación de programas puede constar de un solo fonochasis, un magnetófono de carretes y/o de casette y un micrófono, así como de una mesa de mezcla que no puede nunca faltar. El programa sonoro resultante se «enlata» en una cinta magnetofónica, que será la que posteriormente se lleva a la consola principal para que su contenido sea radiado.

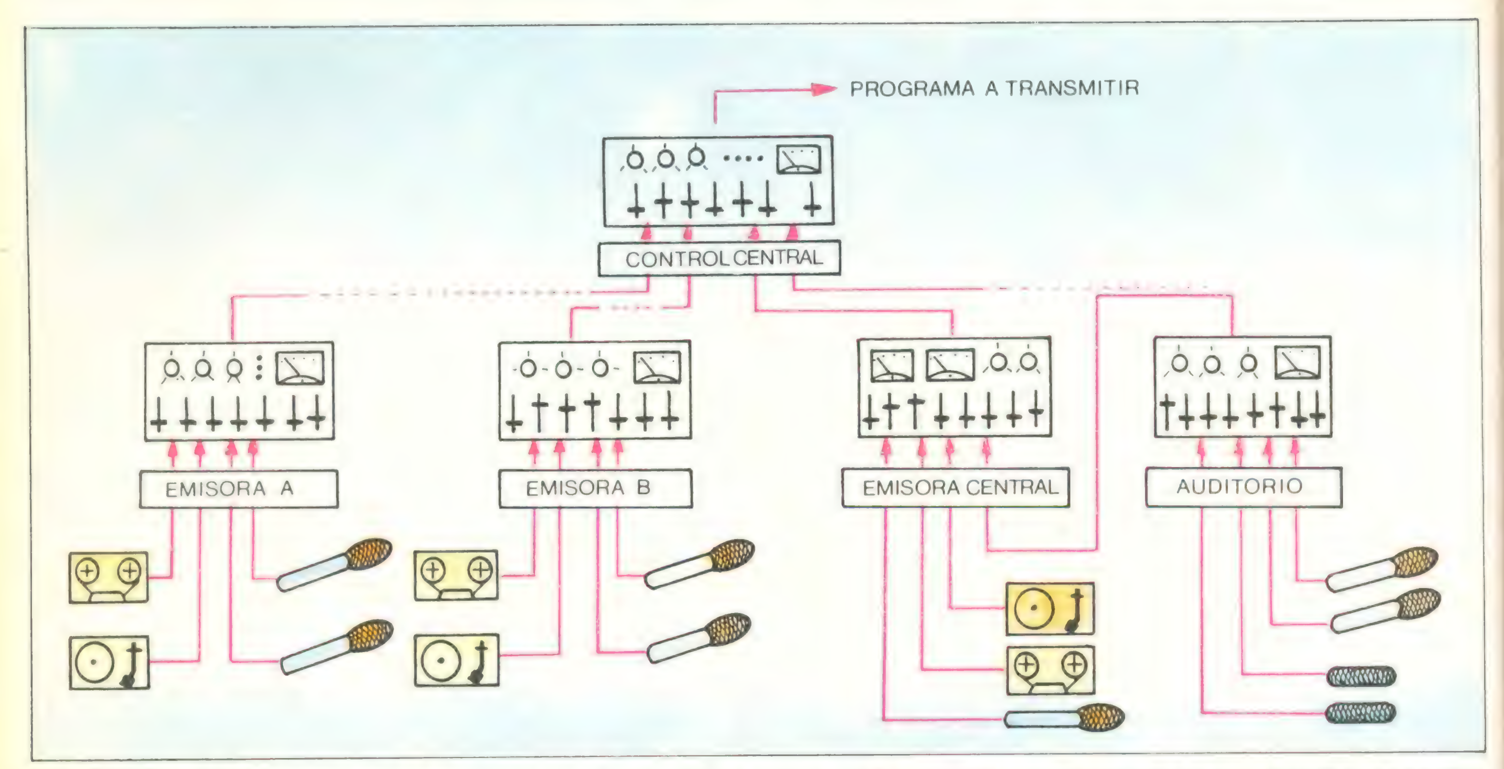
Las grandes emisoras disponen de varios estudios de preparación de programas, que pueden estar trabajando simultáneamente. Además, no sólo se dedican a la grabación del programa definitivo, sino que pueden estar en contacto con lugares exteriores a la emisora para efectuar una pregrabación de la que posteriormente se seleccionarán los fragmentos más interesantes.

Estos contactos con la emisora ya hemos comentado que pueden mantenerse telefónica o microfónicamente. Cuando se requiere una unión de calidad (por ejemplo, una grabación musical) o con un lugar que no dispone de líneas físicas de conexión con la emisora, es frecuente recurrir a lo que se denomina una *unidad* o *equipo móvil*. En su forma más sencilla un equipo móvil consta simplemente de un transmisor portátil que emite sus señales en las bandas de frecuencias asignadas para comunicaciones de este tipo (desde luego, no son las de radiodifusión comercial). Dichas señales son recogidas por un receptor adecuado situado en la propia emisora, del que se obtiene el programa transmitido por la unidad móvil. A partir de aquí, el tratamiento del programa es ya conocido.

Cuando la entidad del acontecimiento a retransmitir sea importante, la unidad móvil puede concebirse como una verdadera mini-emisora, con su propia mesa de mezcla, su realizador y su radioenlace con la emisora central, donde se recibirá la señal para ser tratada de forma conveniente. Desde luego que los programas preparados por las unidades móviles no son destinados exclusivamente a ser grabados, sino que incluso pueden participar como un componente más en la realización de un programa en directo. Para ello, tan sólo hay que introducir a la correspondiente consola de mezcla la señal recibida en la emisora proveniente de la unidad móvil.

Otro tipo de material sonoro que prácticamente sólo se utiliza grabado, es la publicidad. Habitualmente, los espacios publicitarios son de corta duración, para que el impacto sobre los oyentes sea grande; son llamados «cuñas» en el argot profesional. Las cuñas suelen ser suministradas por las propias firmas anunciantes, y su grabación se lleva a cabo en estudios especializados, aunque no habría ningún inconveniente en que fueran realizadas en la misma emisora.

Aunque tradicionalmente siempre se han utilizado los magnetófonos de bobina como equipos base para las grabaciones, poco a poco va introduciéndose el casette para algunos casos concretos. Por lo general, los equipos de bobinas son preferidos por su mayor calidad, robustez y facilidad (no comodidad) de manejo, aunque los casettes presentan mayor versatilidad, sobre todo para grabaciones y entrevistas en el exterior de la emisora, reportajes de urgencia, etc.



Idea esquemática de la realización de un programa en cadena. Cada emisora realiza su propio programa, que es llevado hasta una consola central que realiza el programa que se emitirá después por todas las emisoras de la red.

También es bastante corriente su uso en consolas de mezclas para la introducción en el momento adecuado de las cuñas publicitarias, gracias a los *lectores automáticos* (en inglés, «jingles machines»). Estos lectores se conectan a la mesa de mezcla como una fuente de sonido más, con la particularidad de que pueden ponerse en marcha automáticamente con sólo mover el mando de volumen del canal correspondiente; cuando la cuña termina y el control de volumen es puesto a cero por el realizador para continuar el programa, el lector rebobina automáticamente la cinta de cassette hasta el punto donde se inicia la cuña, quedando así dispuesta de nuevo para una nueva lectura.

Existen mesas de mezcla que incorporan dichos lectores en número variable, pudiendo incluso programarse para que se pongan en funcionamiento secuencialmente, de forma que se facilita en gran manera el trabajo del realizador. Naturalmente, también pueden ponerse en funcionamiento de forma manual, y ser manejados como un magnetófono cualquiera. Además, suelen venir preparados para dos velocidades de lectura, la normal de los aparatos de casette de 4,75 cm/seg., y la de 9,5 cm/seg., con la que puede obtenerse mejor respuesta en frecuencia del equipo. En ocasiones, los lectores automáticos pueden combinarse con una unidad horaria que puede ser incorporada a la misma mesa de mezcla, de forma que su puesta en marcha sea automática a una hora prefijada, incluso introduciendo las correspondientes señales horarias.

Otro tipo de material sonoro que en la gran mayoría de los casos se graba previamente a la emisión son los seriales, las obras de teatro y otras piezas similares. En realidad, la grabación de este tipo de obras no difiere mucho de la de una representación en vivo, propiamente dicha, pero se recurre al empleo de ciertos recursos para dar mayor sensación de realidad al radioyente. Entre dichos recursos cabe destacar los llamados *efectos especiales*. Constituye una labor muy específica en el trabajo de una emisora la producción de dichos efectos. Con ello se trata de imitar sonidos reales por medio de artificios sencillos, de fácil manejo y que presenten una repetibilidad acusada.

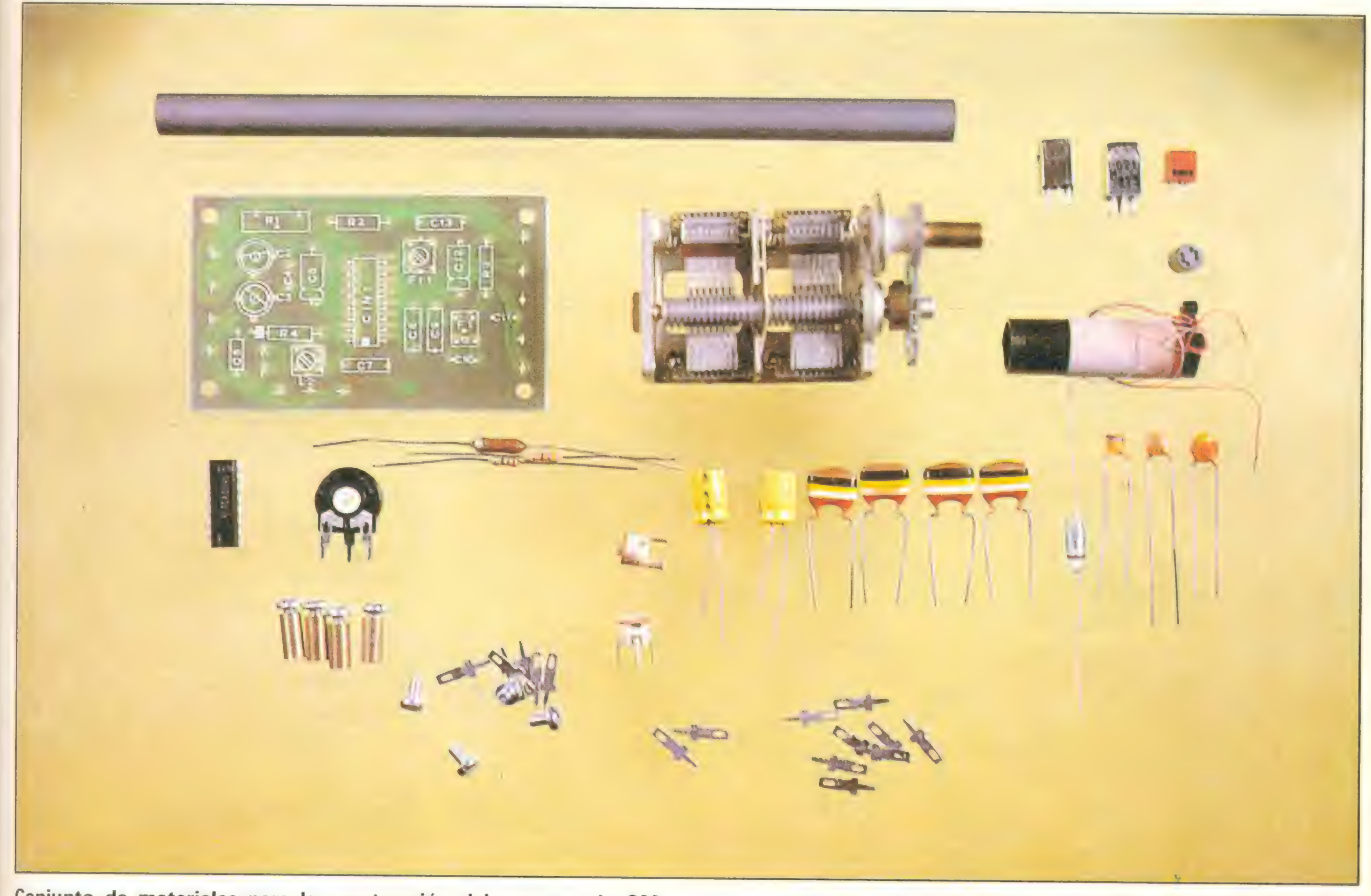
Por citar algunos ejemplos sencillos, diremos que el sonido del galopar de un caballo puede realizarse fácilmente con un par de cuencos que se golpean boca abajo sobre una superficie dura, o el ruido del crepitar de un fuego se consigue arrugando un papel de celofán delante de un micrófono. Hoy día muchos de estos efectos especiales, sobre todo los más elaborados, se encuentran contenidos en grabaciones discográficas especializadas, donde se pueden encontrar desde al llanto de un niño hasta el rugir de una gran tempestad, pasando por el accidente de tráfico o el aplauso de una gran multitud. En este aspecto, puede encontrarse prácticamente lo que se desee, por lo que sólo se recurre a los efectos especiales realizados «a mano» en casos muy concretos.

Otras particularidades

Algunas emisoras de radio poseen su propio auditorio para representaciones teatrales, conciertos, etc. Las tomas de sonido, en este caso, se realizan a base de micrófonos, y son llevadas a una consola de mezcla dedicada exclusivamente al auditorio. La señal de salida de dicha consola se lleva a su vez al control central de la emisora para ser tratada como una más, o bien al control de grabación para efectuar el correspondiente almacenamiento del programa sonoro allí realizado.

Un tratamiento parecido se da cuando se realizan programas en cadena. Cada una de las emisoras que va a participar activamente en la realización de los mismos posee su propia mesa de mezcla desde donde maneja las señales apropiadas. Cada una de las señales de cada mesa de mezcla se lleva a una consola central, desde donde se coordina la ejecución total del programa. Esta última consola puede ser la propia de la emisora central, u otra distinta destinada a este fin en la misma.

Receptor de onda media



Conjunto de materiales para la construcción del receptor de OM.

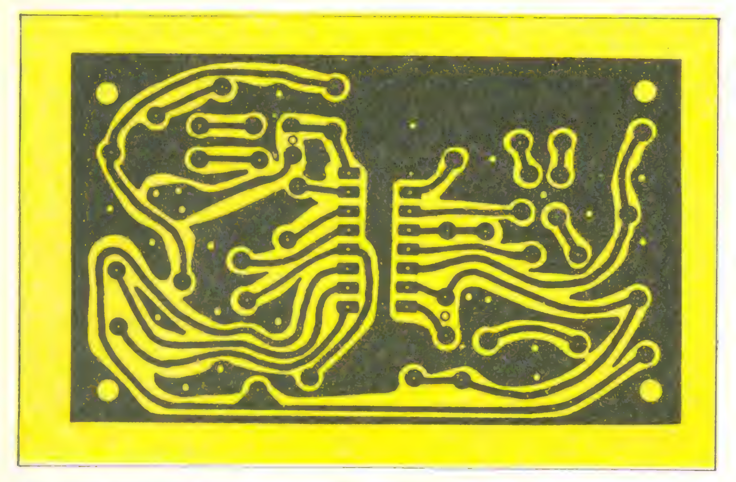
LAS comunicaciones radioeléctricas constituyen una de las especialidades destacadas de la electrónica moderna. Dentro de este amplio concepto son de resaltar todas las aplicaciones relacionadas con la recepción de las emisoras «comerciales», tanto en la banda de onda media como en frecuencia modulada.

Los circuitos receptores más simples son los preparados para recoger las emisiones de onda media, las cuales se caracterizan por contener la información que transmiten bajo la forma de una modulación de amplitud (AM), consiguiéndose así que el proceso de demodulación sea bastante simple.

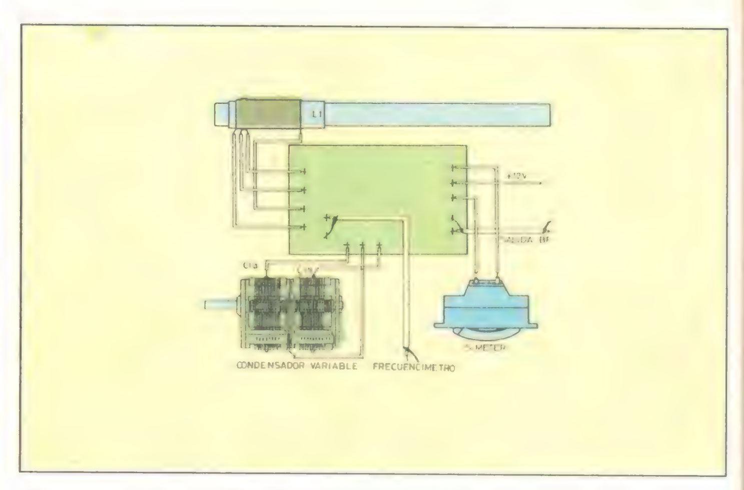
El circuito que pasamos a describir es un ejemplo muy interesante de receptor de AM, en el que la mayor parte de las funciones están realizadas mediante un circuito integrado que contiene todas las etapas necesarias: amplificador de radiofrecuencia, oscilador local, mezclador para frecuencia intermedia (FI), amplificador de FI de ganancia variable para control automático de sensibilidad (CAS), detector en puente y filtro activo paso-bajo de salida.

Este receptor está preparado para captar directamente las emisiones, y entrega a su salida una señal de baja frecuencia (BF) que puede ser aplicada directamente a un amplificador para su escucha. Su construcción puede realizarse a partir del Kit número 113RN de CARKIT, que contiene todos los materiales necesarios.

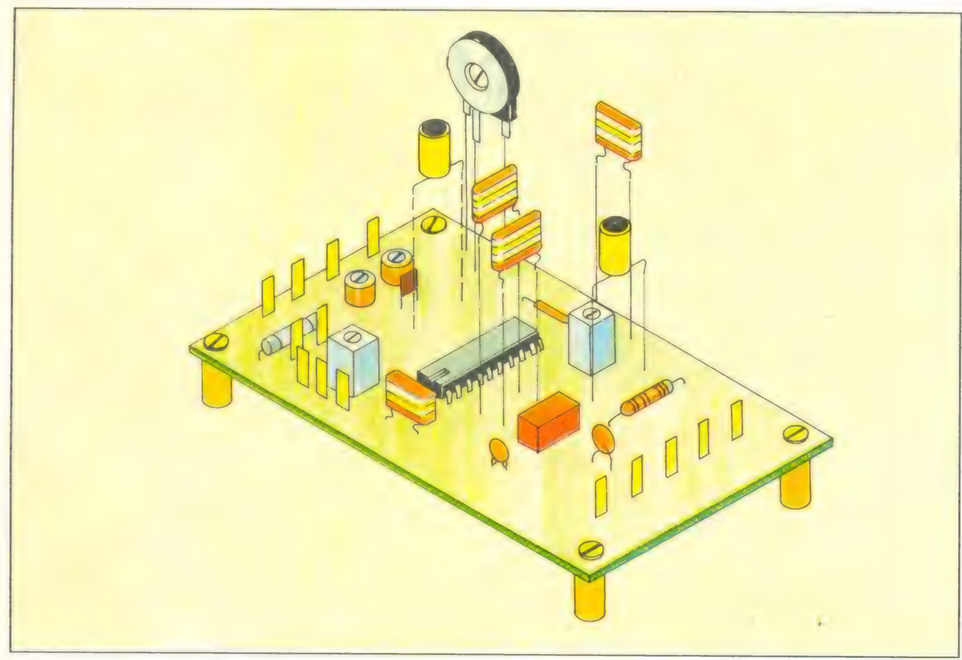
• R1: Resistencia ajustable 1 K • R2: Resistencia 1/2 W 4 K7 • R3: Resistencia 1/2 W 2 K2 • R4: Resistencia 1/2 W 22 Ω • C1, a, b: Condensador variable 2 × 410 pF • C2 y C3: Trimer 2,5/20 pF • C4: Condensador disco 120 pF • C5: Condensador electrolítico 22 μF/25 V • C6: Condensador Styroflex 330 pF • C7, C8, C9 y C13: Condensadores placo 100 K • C10: Condensador disco 47 pF • C11: Condensador disco 330 pF • C12: Condensador electrolítico 22 μF/25 V • L1: Bobina sobre ferrita • L2: Bobina osciladora • FI1: Transf. Frecuencia intermedia • F1: Filtro cerámico doble de 455 KHz • CIN: Circuito integrado TDA 1046 • CI: Circuito impreso de 80 × 50 milímetros • 15 espadines • 8 tornillos de 1/8 × 5 milímetros • 4 se-



Circuito impreso del receptor. Tamaño real.

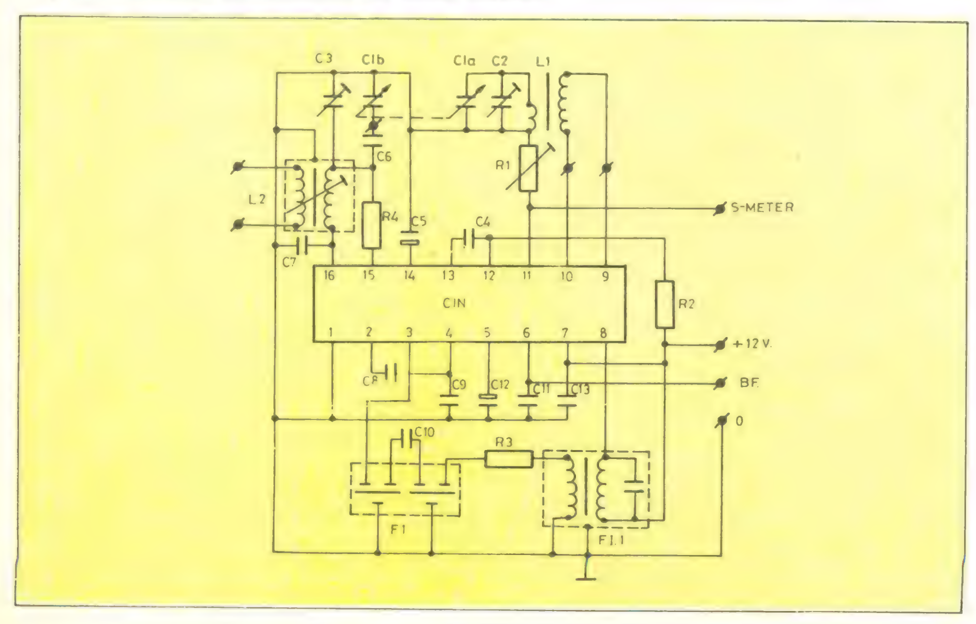


Conexiones del circuito impreso con el resto de elementos.



Montaje de los componentes sobre el circuito impreso.

Esquema eléctrico del Receptor de Onda Media.



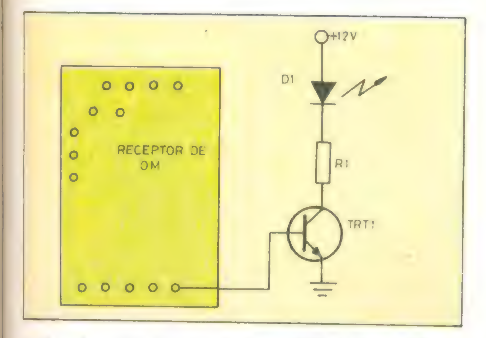
paradores de 10 milímetros • 1 perla de ferrita.

Ajuste

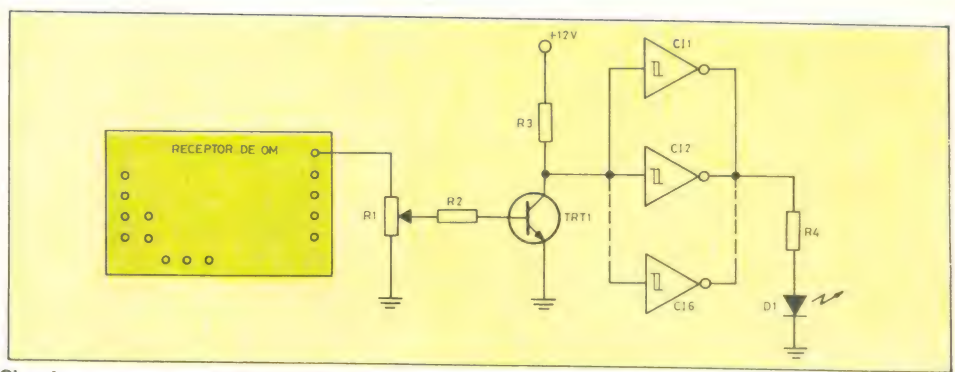
Para efectuar el ajuste se debe sintonizar una emisora que se oiga con debilidad y retocar el núcleo de FI1 hasta obtener la máxima señal. Sintonizar una emisora comprendida entre 535 y 650 KHz y con el condensador de sintonía C1 cerrado, ajustar L2 y desplazar la bobina L1 de antena sobre la ferrita hasta la máxima sensibilidad, fijándola con cera o parafina. Sintonizar otra emisora comprendida entre 1.500 y 1.600 KHz, ajustar C3 y retocar C2 hasta obtener la mejor audición posible.

Posibles mejoras

Los indicadores de sintonía en un receptor de modulación de amplitud suelen ir siempre íntimamente ligados con el control automático de ganancia o sensibilidad (CAG o CAS), de tal manera que la tensión continua proporcionada por dicho control es proporcional al grado de sintonía logrado sobre una emisión.
Para realizar un control de sintonía sobre una emisora débil o lejana es muy útil la indicación del medidor que puede incorporarse sobre el receptor propuesto (S-meter, o medidor de unidades S), puesto que el oído humano es muy mal «medidor», y confunde fácilmente intensidades de señal muy distintas, cosa que no pasa con la indicación visual. No siempre es necesario realizar un control tan preciso sobre la intensidad de señal que llega al receptor, sino que para muchos aficionados será suficiente con saber si la emisora que sintoniza se encuentra en su punto óptimo o no,



Indicador de sistema con LED D1 = diodo LED (CQY40L/CQY72L). R1 = 470 Ω. TRT1 = BC147/BC237/BC547.

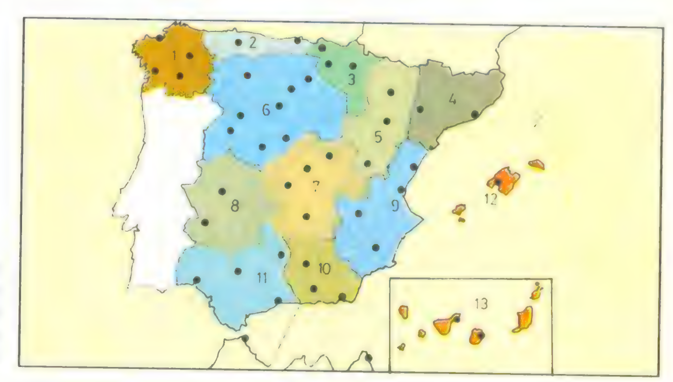


Circuito que mejora el encendido del Led: D1 = diodo LED (CQY40L/CQY72L). R1 = 5 kΩ, ajustable. R2 = 330 kΩ. R3 = 10 kΩ. R4 = 470 kΩ. CI1 a CI6 = MM74C14. TRT1 = BC147/BC237/BC547.

o bien si la señal que llega es suficiente como para asegurar una cierta calidad de escucha.

Para este cometido resultan muy útiles los indicadores de sintonía luminosos, materializados generalmente con un Led, y que indican que la señal recibida es de la suficiente amplitud cuando se iluminan, además de presentar su iluminación más brillante cuando la sintonía es perfecta. Con este objetivo se ha diseñado el circuito mostrado en el esquema de la figura. Con la resistencia ajustable incluida en la placa del receptor puede regularse la intensidad de señal que hará brillar al Led a su máxima luminosidad.

Existe otra posibilidad, en la que se emplean seis inversores Schmitt en paralelo, para conseguir que el encendido del Led sea estable aun cuando varíe la amplitud de la señal recibida, gracias al efecto de histéresis de tales inversores. La resistencia ajustable incluida en la placa del receptor debe retirarse. R1 sirve para regular la intensidad de señal recibida que hará disparar los inversores Schmitt.



Zonas de radiodifusión en OM en el territorio nacional.

Datos para el ajuste

Puede que algún aficionado no disponga del instrumental completo aconsejable para el ajuste correcto del receptor OM. Con tal objeto pueden servir perfectamente emisoras de radiodifusión que transmitan en la banda citada, a ser posible situadas sobre los extremos de tal banda, y como condición indispensable, con frecuencia de transmisión conocida.

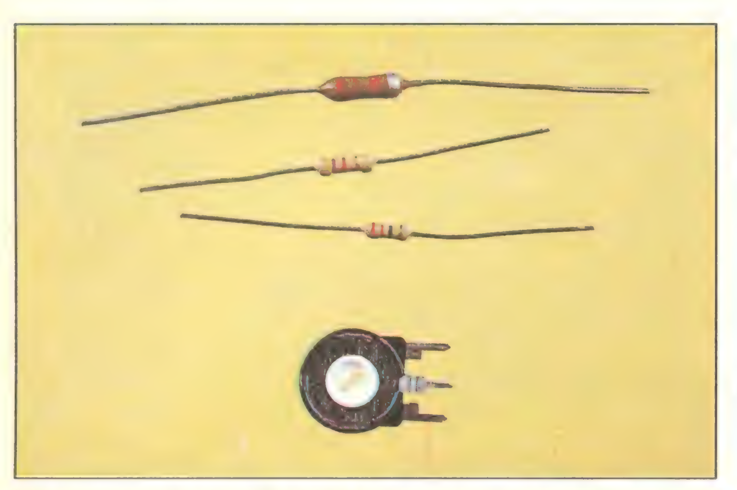
Por lo general, todas las emisoras de radiodifusión mencionan su indicativo a lo largo de su programación, aunque muy pocas hacen lo mismo con la frecuencia a la cual transmiten. Tal dato puede obtenerse directamente de la emisora (una carta o una llamada telefónica suele ser suficiente).

Para aquellos aficionados que desconozcan las frecuencias de emisión de estaciones cercanas a su lugar de residencia, se da una lista de algunas de las mismas que transmiten en España en la banda de OM. Tal lista no es exhaustiva, y pueden emplearse cualesquiera otras con la condición de saber su frecuencia. La lista mostrada tiene validez a la fecha de publicación (las frecuencias de transmisión pueden variar por acuerdos internacionales).

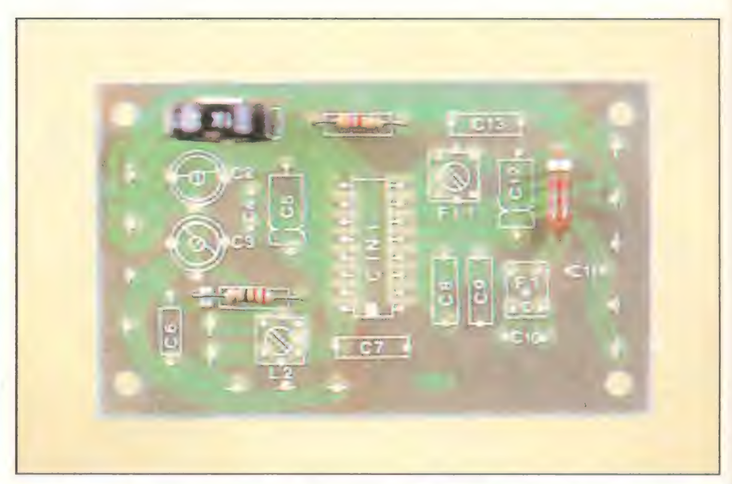
Tabla de localización de emisoras de OM ordenadas por zonas.

ZONA	RADIO	FREC.
1	—1 (La Coruña)	639
	—Cadena Coruña	1.395
	Pontevedra	1.521
	Orense	1.584
	Lugo	1.602
2	—1 (Oviedo)	729
	Santander	1.485
3	Vitoria	1.602
4	—1 (Barcelona)	738
	—5 (Barcelona)	1.359
	Tortosa	1.395
	Gerona	1.485
	—Cadena Tarragona	1.503
	Manresa	1.521
	Lérida	1.584
5	—1 (Zaragoza)	639
	—Cadena Zaragoza	1.413
6	—1 (Madrid) (*)	585
	Salamanca	1.485
	León	1.485
	—Cadena Avila	1.503
	Valladolid	1.539
	Castilla	1.584
	Zamora	1.584
	Segovia	1.602
7	—1 (Madrid)	585
	—Cadena Madrid (3)	1.314
	Ciudad Real	1.485
	Albacete	1.584
8	—1 (Cáceres)	774
	Badajoz	1.503
9	—1 (Valencia)	774
	—Cadena Valencia	1.314
2	Asturias	1.521
3	—1 (S. Sebastián)	774
	—Cadena Guipúzcoa	1.314
	—Cadena Soria	1.314
	—Cadena Bilbao	1.476
	Rioja	1.485
	Navarra	1.584
9	Castellón	1.485
	Elche	1.584
	Onteniente	1.602
	Cartagena	1.602
10	—1 (Sevilla) (*)	684
	Atalaya	1.314
	—Cadena Granada	1.395
	Córdoba	1.575
	Almería	1.584
	Linares	1.602
11	—1 (Sevilla)	684
	—Cadena Cádiz	1.314
	—Cadena Huelva	1.395
	—Cadena Sevilla	1.413
	Antequera	1.485
	Costa del Sol	1.503
	Jerez	1.584
12	—1 (Barcelona) (*)	738
	Popular Menorca	1.134
	Popular Mallorca	1.224
	Popular Ibiza	1.224
13	—1 (Tenerife)	621
	—Cadena Tenerife	720
	Ecca	1.269
	Club Tenerife	1.341

(*) Fuera de la región.



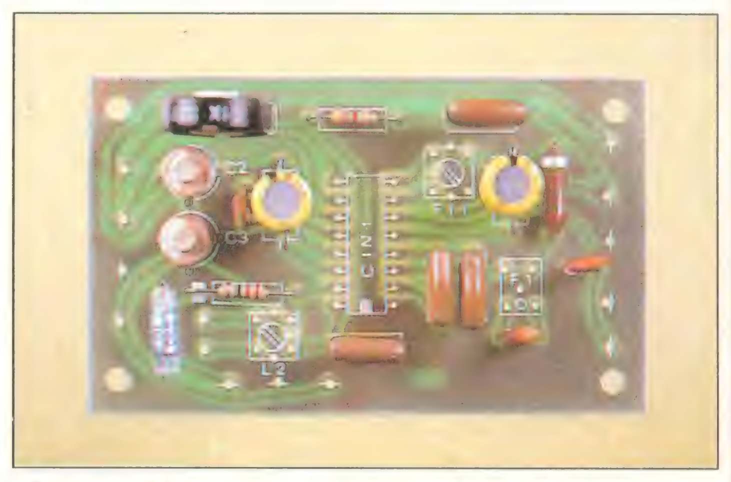
Este circuito, por su gran simplicidad, no precisa de un número elevado de componentes. Así, en la fotografía, pueden verse las cuatro resistencias necesarias, de las cuales tres son fijas y la restante ajustable, estando destinada a la posición indicada con R1 en la serigrafía del circuito impreso.



La primera operación de montaje de la placa puede destinarse a la inserción de las cuatro resistencias mencionadas anteriormente sobre sus posiciones respectivas, en la forma que se observa. Después se soldarán al circuito y se eliminarán los restos sobrantes de terminales.

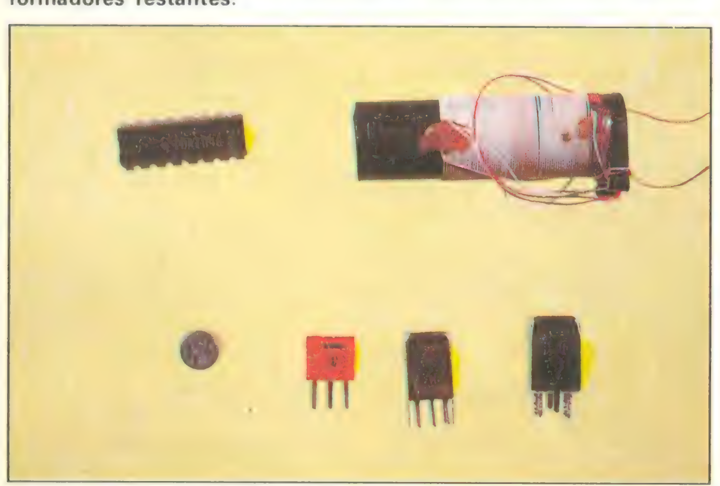


El conjunto completo de condensadores está constituido por 12 elementos. Según puede verse, corresponden a varios tipos diferentes: cerámicos fijos y ajustables, de poliéster o placo, electrolíticos y styroflex. Todos ellos son directamente insertables, excepto el último, que requiere un preformado previo.



Este paso del montaje se destina a instalar todos los condensadores anteriores sobre los lugares que indica la serigrafía y que se observan en la imagen, soldándoles seguidamente. Debe prestarse atención a la polaridad de los electrolíticos, haciendo que coincida con la señalada en la placa.

Además de los componentes electrónicos ya citados, son necesarios todos los incluidos en este grupo. Se trata del circuito integrado CIN que realiza la mayor parte de las funciones, el filtro cerámico F1 de Frecuencia Intermedia y las tres bobinas y transformadores restantes.



Seguidamente, se procederá a montar el juego completo de bobinas y filtro. La posición de este último elemento es la que se observa en la imagen en la que puede verse la marca indicadora de la posición de montaje, situada entre los dos orificios inferiores. Esta se hará coincidir con la que posee el filtro.



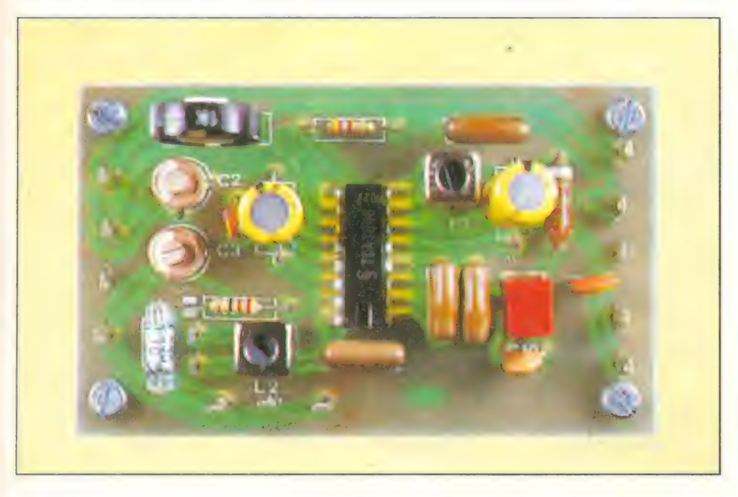


Obsérvese el filtro cerámico ya montado sobre la posición de la placa citada anteriormente. Sobre la zona superior del mismo se encuentra la marca que indica su orientación correcta, la cual se sitúa en el mismo lugar que la de la serigrafía que se vio en la fotografía anterior.



Como ya se habrá podido deducir, el único componente semiconductor que posee este equipo es el circuito integrado CIN, el cual se ha insertado directamente sobre la placa según la orientación que se observa. Su soldadura se hará con precaución, evitando un excesivo calentamiento de sus patillas.

Esta es la última operación de las destinadas al montaje de la placa. En ella se han insertado los terminales de espadín sobre todos los orificios preparados para ello. También se han montado los cuatro separadores en los vértices de la placa, sujetándoles con tornillos.



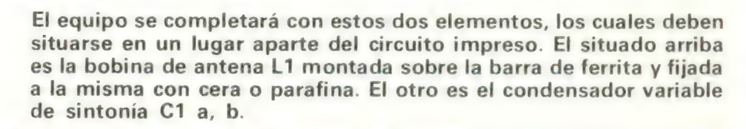


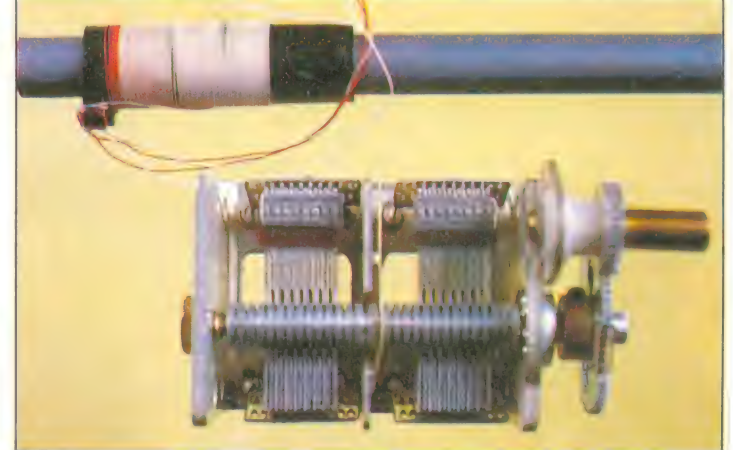
Las dos bobinas restantes se instalarán sobre las posiciones adecuadas. Para ello se puede identificar la osciladora L2 mediante la indicación 021, situada sobre su caja metálica de blindaje. De igual forma, el transformador F.I.1 está marcado con un punto negro sobre el núcleo ajustable.



El conjunto de elementos mecánicos y de interconexión se reduce a los que se encuentran en la imagen. Pueden verse los separadores metálicos, encargados de proporcionar la fijación del circuito y los terminales de espadín que facilitan en gran manera las conexiones hacia el exterior.

El equipo se completará con estos dos elementos, los cuales deben situarse en un lugar aparte del circuito impreso. El situado arriba es la bobina de antena L1 montada sobre la barra de ferrita y fijada a la misma con cera o parafina. El otro es el condensador variable de sintonía C1 a, b.





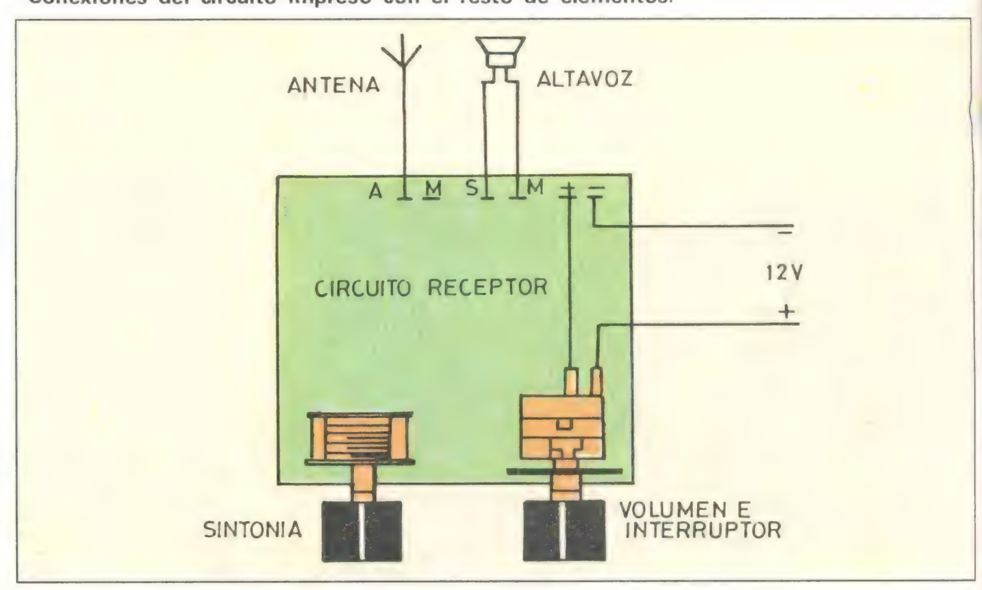
Receptor de VHF

Conjunto de materiales del receptor de VHF.

EL gran desarrollo experimentado por los componentes electrónicos ha facilitado enormemente el progresivo desplazamiento de las comunicaciones radioeléctricas hacia zonas del espectro de frecuencias bastante más elevadas que las empleadas en las ondas medias y cortas. Este fenómeno ha sido también una consecuencia del enorme incremento de emisoras comerciales, privadas y de servicio, lo que obliga a disponer de una banda suficientemente amplia.

Dentro de este amplio espectro de frecuencias altas se ha establecido una separación en dos partes denominadas: VHF (*V*ery *H*igh *F*recuency), comprendida entre 47 y 230 MHz, y UHF (*U*ltra *H*igh *F*recuency), que va desde 230 a 840 MHz. La primera de

Conexiones del circuito impreso con el resto de elementos.



ellas, además de las conocidas aplicaciones de televisión y radio (FM), dispone también de varios espacios destinados a comunicaciones radiotelefónicas como pueden ser las de radioaficionados a 144 MHz, aviones con aeropuertos, bomberos, ambulancias, grúas, etc. Resulta, por tanto, muy interesante el disponer de un receptor que sea capaz de recoger estas emisiones, sirviendo al mismo tiempo como una interesante experiencia en el ámbito de las radiocomunicaciones. El equipo que se describe es un sencillo receptor de VHF, del tipo superregenerativo, de bastante eficacia, capaz de trabajar con una pequeña antena de 50 centímetros. Se ha empleado el Kit núm. 15 de Sales Kit.

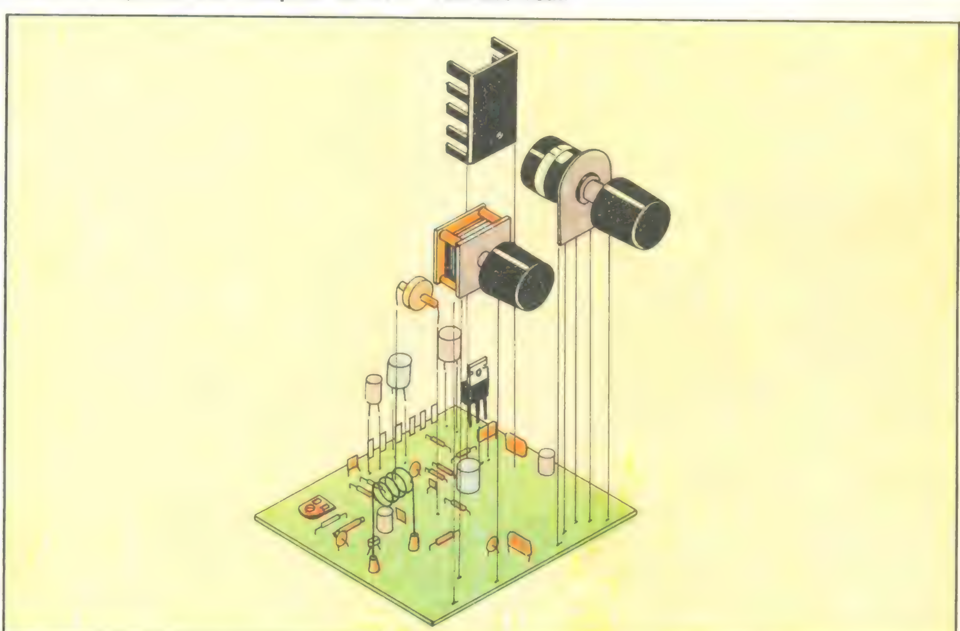
R1: Resistencia 1/4 W 220 Ω • R2: Resistencia 1/4 W 4,7 Ω • R3: Resistencia 1/4 W 1 Ω • R4: Resistencia 1/4 W 47 Ω • R5: Resistencia 1/4 W 10 K • R6: Resistencia 1/4 W 1 K • R7: Resistencia 1/4 W 5,6 K • R8: Resistencia 1/4 W 10 K • R9: Resistencia ajustable 50 K circuito impreso • P1: Potenciómetro de panel 10 K log. circuito impreso • C1: Condensador electrolítico 10 µF/16 V • C2, C3 y C8: Condensadores poliéster 100 nF • C4: Condensador electrolítico 100 µF/25 V • C5 y C6: Condensadores electrolíticos 470 µF/6,3 V • C7: Condensador cerámico 22 nF • C9: Condensador estiroflex 1 nF • C10: Condensador cerámico 680 pF • C11: Condensador cerámico 470 pF • C12 y C14: Condensadores electrolíticos 4,7 µF/10 V • C13: Condensador cerámico 10 nF • C15: Condensador cerámico 4,7 pF • C16: Condensador cerámico 10 pF • Condensador variable CV 15 • CH1: Bobina choque onda media • CH2: Bobina choque onda corta • L1: Bobina aire • T1: Transistor SF115 • IC: Circuito integrado TDA 2002 • Circuito impreso de 90 × 80 milímetros • Escuadra fijación potenciómetro • Radiador para cápsula TO220 • 2 hembrillas de 1 milímetro circuito impreso • 30 centímetros hilo desnudo de 1 milímetro Ø • 4 separadores • Tornillos M3 • Tuerca/s M3 • 2 botones de mando.

Ajuste

Para efectuarle se debe poner en marcha el equipo y sintonizar una estación con el condensador variable CV15. Retocar R9 hasta obtener una escucha limpia y con la mínima distorsión.

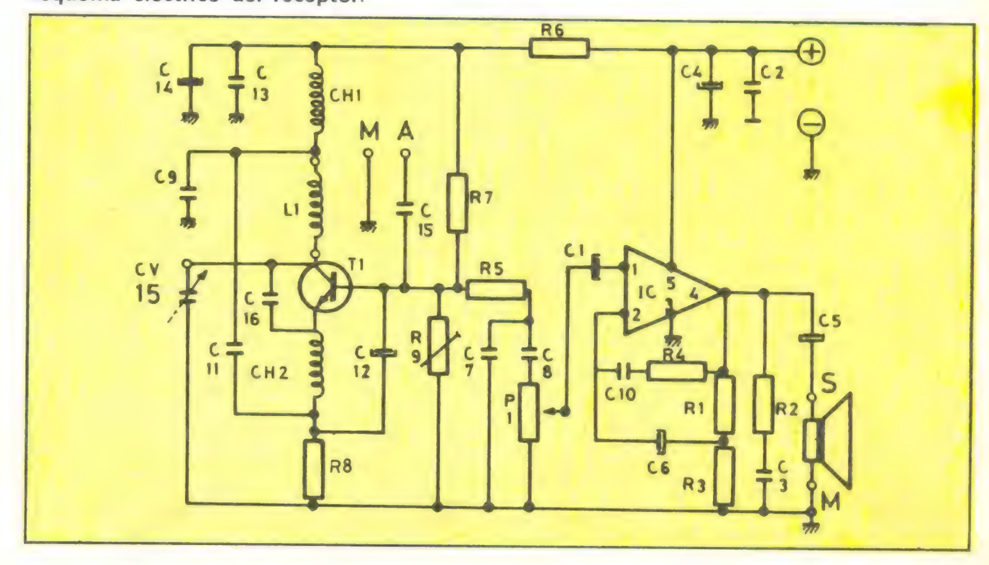


Circuito impreso del receptor de VHF. Tamaño real.



Montaje de los componentes sobre el circuito.

Esquema eléctrico del receptor.



Banda frecuencia (MHz)	Longitud antena (cm)	Servicio
47-68 canal 2: 53,75 canal 3: 60,75 canal 4: 67,75	105 a 152 133 117	Televisión Banda I
68 - 74,8	100	Serv. fijo y móvil (exc. aeronáutico) (SFM)
75	95	Radiobalizas aéreas
75,2 - 87,5	88	SFM
87,5 - 108	73	Radiodifus. en MF
108 - 118	63	Navegación aérea
118 - 121,4	60	Serv. fijo y móvil aeroná. (SFMA)
121,5	59	Emergencia
121,6 - 137	55	SFMA
137 - 138	52	Investigac. espacial, satélites meteorológi.
138 - 144	51	SFMA
144 - 146	49	Aficionados
146 - 149,9	48	SFM
149,9 - 150,1	47,5	Navegación por satélite
150,1 - 156,7	46	SFM
156,8	45	Llamada socorro marítimo
156,9 - 174	43	SFM
174 - 230 canal 5: 180,75 canal 6: 187,75 canal 7: 194,75 canal 8: 201,75 canal 9: 208,75 canal 10: 215,75 canal 11: 222,75 canal 12: 229,75	31 a 40 39 38 37 35 34 33 32	Televisión Banda III

Instalación y recomendaciones

El receptor puede ponerse muy fácilmente en marcha. Tan sólo es necesario acoplarle un altavoz o unos auriculares, la antena adecuada, la bobina de sintonía para la banda que desee recibirse y la tensión de alimentación para su funcionamiento. Como altavoz puede emplearse cualquier modelo cuya impedancia sea de 8 Ω. También valdrá cualquier tipo de auricular de baja impedancia; si van a emplearse éstos, es conveniente disponer en serie con ellos una resistencia de 15 Ω 0,5 W, para evitar su deterioro si se eleva el volumen demasiado.

La antena puede conectarse directamente sobre la placa del circuito impreso; en este caso, no es necesaria la toma de masa previa para la misma. Si se va a disponer la antena separada (por ejemplo, en el tejado), es necesario conectarla con el receptor por intermedio de un cable coaxial (cualquier modelo de los coaxiales empleados para televisión valdrá).

Es muy conveniente dotar a la antena de un *plano de tierra,* que puede ser el techo de un automóvil, una superficie metálica grande o un conjunto de tres o cuatro varillas de igual longitud que la antena, dispuestas sobre un plano horizontal o ligeramente inclinado.

La bobina de sintonía debe autoconstruirse. El número y tamaño de las espiras decidirá la banda de frecuencias sintonizadas. En la tabla adjunta se dan las características constructivas de varias posibles bobinas. El margen de frecuencias sintonizado es muy difícil de predecir con exactitud, por depender de varios factores. El dado en la tabla es sólo orientativo. El hilo debe ser plateado de 1,5 milímetros, la longitud total será de 15 milímetros y el diámetro interno del bobinado de 10 milímetros.

Datos para la antena

La distribución del espectro de frecuencias para los distintos servicios viene fijada por organismos internacionales, en los que participan todos los países, y a cuyos acuerdos se atienen los Estados. No todas las partes del planeta tienen los mismos acuerdos, aunque, en general, la asignación de bandas es muy similar. Para la zona europea, el espectro de VHF comprendido en el margen de 47 a 230 MHz se dedica a muy variados usos, desde radiodifusión de sonido e imagen hasta bandas reservadas a radioaficionados, pasando por servicios de navegación, emergencia y comunicaciones móviles.

Un resumen de división de la banda mencionada se da en la tabla adjunta. En ella se incluyen las frecuencias de las portadoras de *sonido* de los distintos canales de televisión de las bandas I y III (canales 2 al 12). Debe advertirse que tal asignación de frecuencias puede cambiar por acuerdos internacionales, y es válida en la fecha de publicación.

Cuando se está interesado en la recepción de una banda concreta es

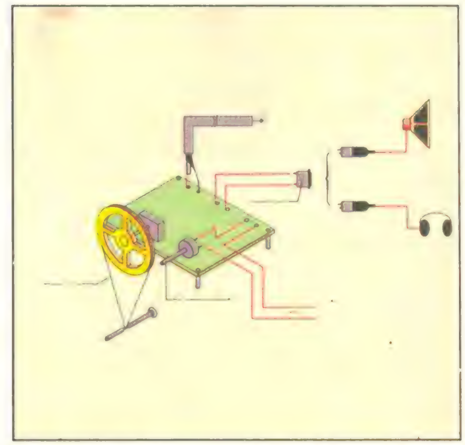
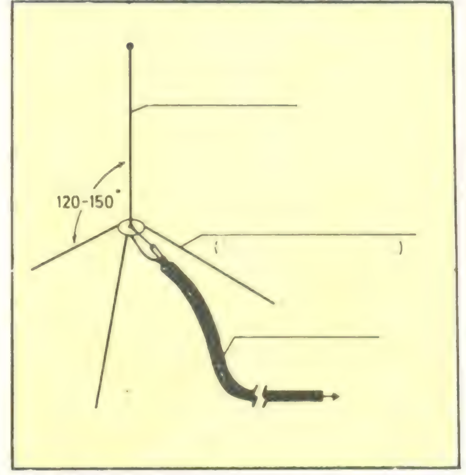


Diagrama de instalación del receptor.



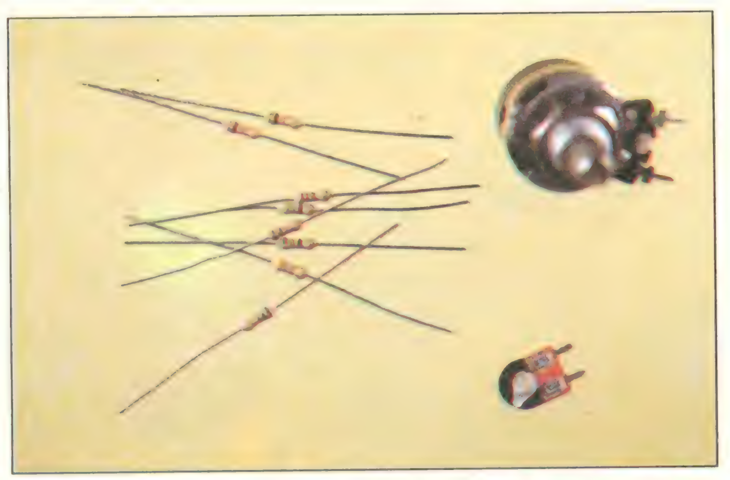
Modelo de antena a emplear con el receptor.

Número espiras	Banda sintonizada
8	50 - 80 MHz
7	60 - 90 MHz
6	70 - 100 MHz
5	80 - 115 MHz
4	85 - 120 MHz
3	100 - 140 MHz
2	120 - 150 MHz
1	140 - 170 MHz
0,5	160 - 190 MHz

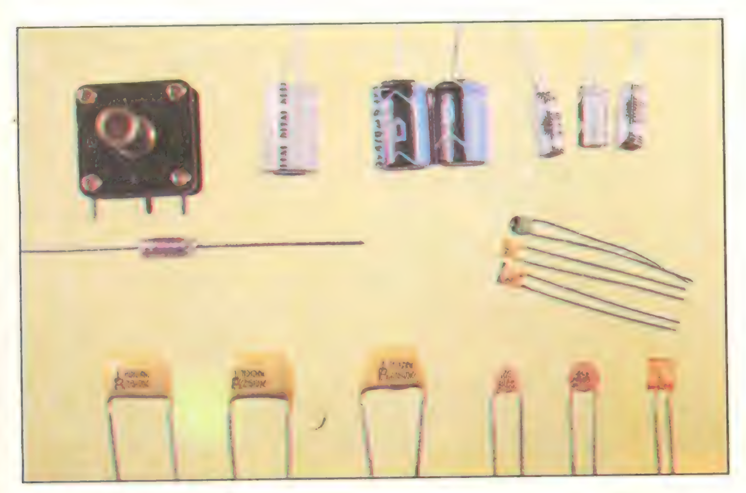
conveniente disponer de una antena cuya longitud se corresponda con las frecuencias a recibir. Aunque tal longitud no es crítica, sí debe respetarse en lo posible para obtener el mayor rendimiento. Dicha longitud puede calcularse con ayuda de la fórmula:

$$\text{Long. antena (cm.)} \quad \frac{7125}{f_{trans}\,(\text{MHz})}$$

pudiéndose emplear una varilla de aluminio, un alambre rectilíneo de acero, una antena telescópica abierta a la longitud precisa o un simple cable rígido. En la tabla mencionada también puede encontrarse tal longitud.

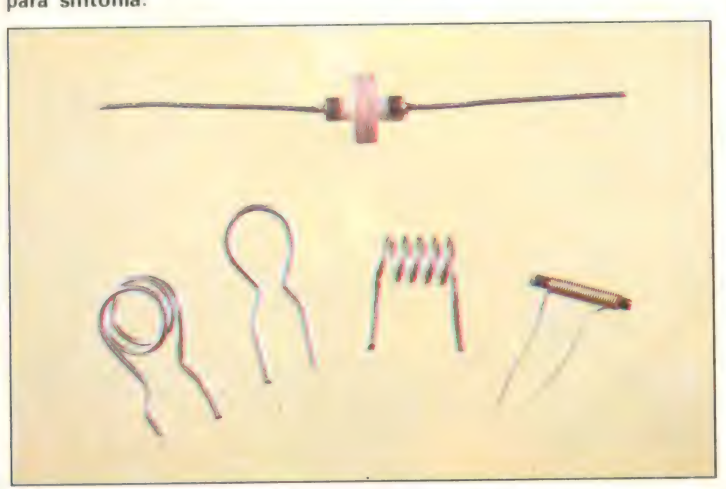


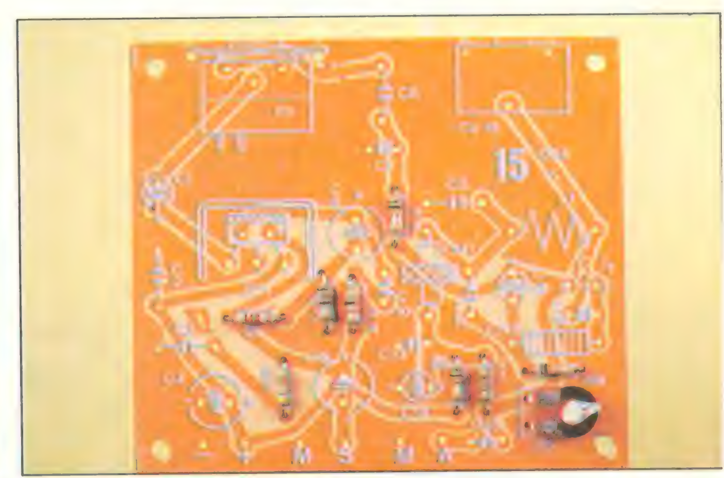
La primera operación, recomendable en todos los casos, es la de comprobar que se dispone de los componentes. Así, en la imagen pueden verse las resistencias, entre las que se ha incluido el potenciómetro de volumen.



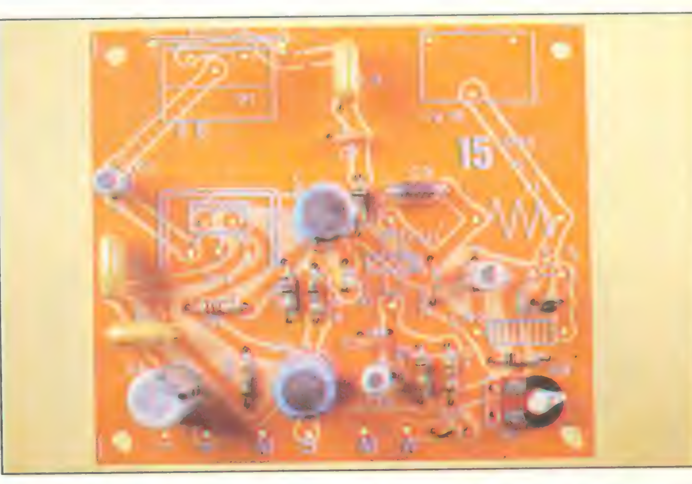
Este es el conjunto de condensadores, que como puede observarse está formado por elementos pertenecientes a varios tipos diferentes. En la zona superior se encuentra el variable para sintonía y los electrolíticos; abajo están el de estiroflex, los de poliéster y los cerámicos.

Todos los circuitos destinados a trabajar en comunicaciones radioeléctricas precisan de un juego de bobinas adaptado a la banda de frecuencias de funcionamiento. En nuestro caso se emplearán las que se observan en la imagen, siendo las tres de la derecha para sintonía.



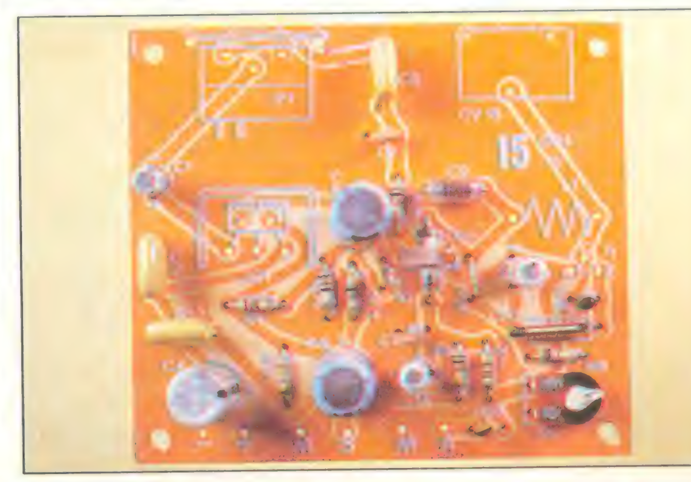


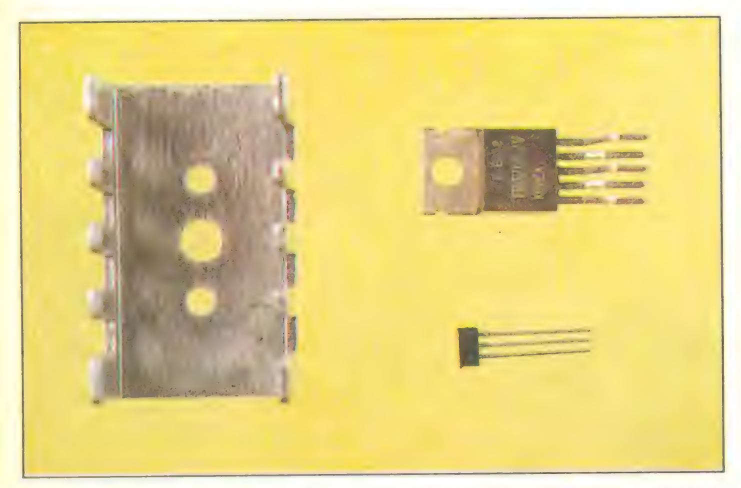
El primer paso del montaje se ha destinado a la inserción de todas las resistencias en las posiciones señaladas por la serigrafía, soldándolas a la misma. La ajustable destinada al lugar R9 se montará en posición vertical y después se doblará para quedar paralela a la placa.



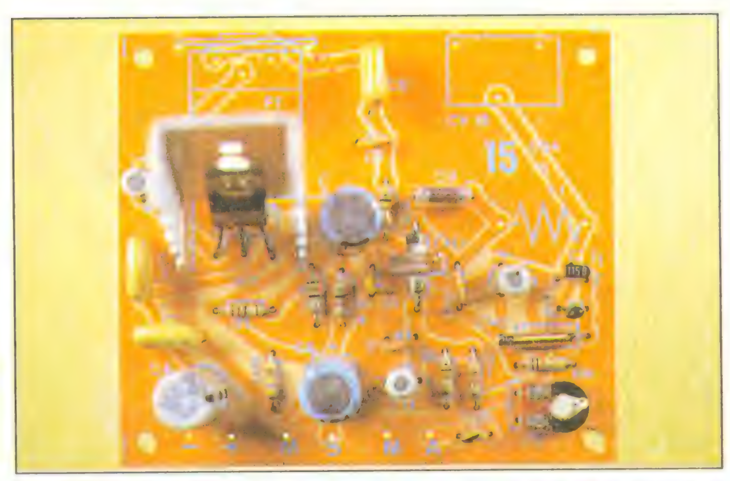
Este paso del montaje se destina a instalar todos los condensado res anteriores sobre los lugares que indica la serigrafía, excep tuando el variable CV15, y soldarles a la placa. Debe prestars atención a la polaridad de los electrolíticos haciéndola coincidir co la indicada.

Montaje de dos de las bobinas anteriores sobre las posiciones CH y CH2. La primera de ellas debe ser insertada de tal forma que terminal correspondiente al extremo externo del bobinado penet en el taladro más cercano al condensador C9. La función de amba es la de choques de radiofrecuencia.

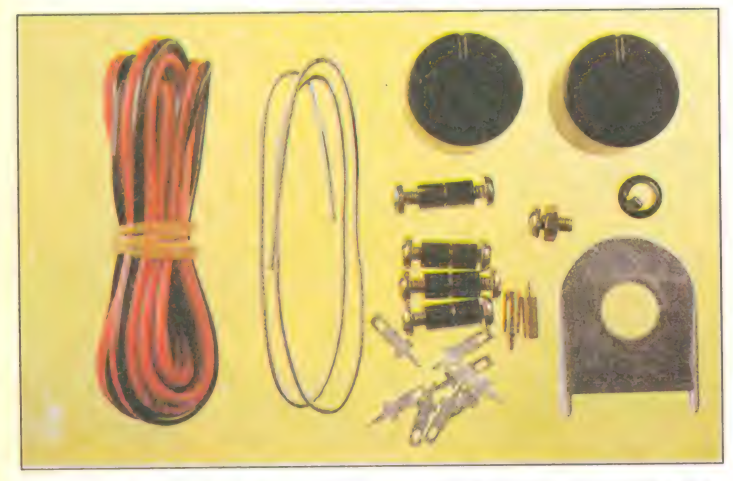




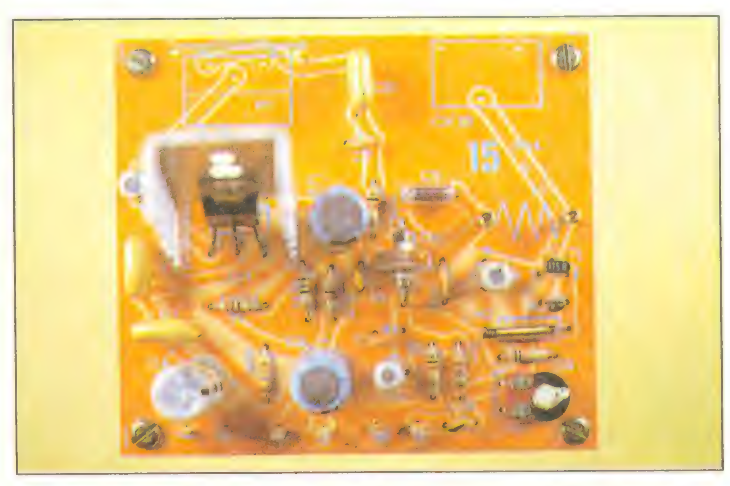
Esta imagen muestra los dos componentes semiconductores que emplea el circuito receptor. Se trata de un transistor destinado a la posición T1 y un circuito integrado que incluye un amplificador de baja frecuencia. Se encuentra, además, el disipador necesario para el integrado.



El montaje de los dos elementos anteriores sobre el circuito impreso no debe ofrecer ningún problema. La posición de T1 se indica con los caracteres EBC (emisor, base, colector) y la del circuito integrado se deduce de la situación de los taladros. Previamente se habrá fijado a éste el disipador con un tornillo y tuerca.

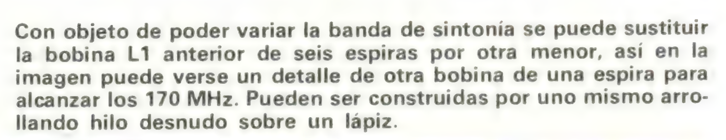


Este es el conjunto de elementos mecánicos y de interconexión. Se encuentran el cablecillo de conexiones, el hilo desnudo para construir la bobina L1, espadines, separadores, tornillos, botones de mando del condensador variable y potenciómetro, así como la pieza soporte de este último.

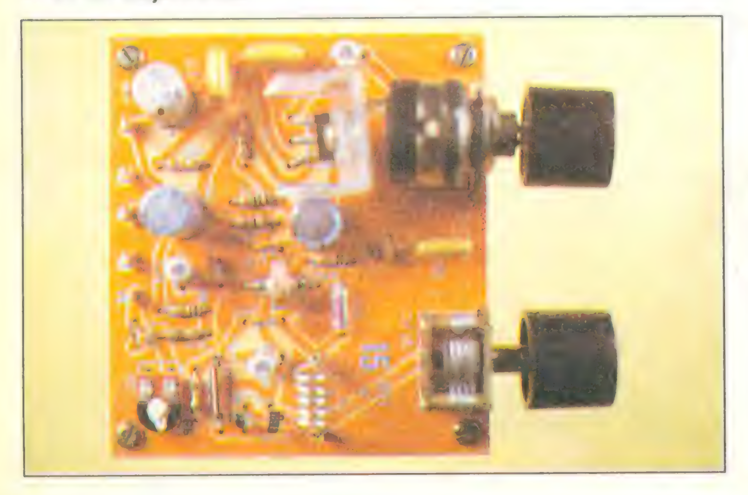


En esta operación de montaje se han insertado y soldado a la placa los espadines destinados a las conexiones de antena, altavoz y alimentación, así como los dos de tipo hembrilla que servirán de alojamiento a la bobina L1. Además se han fijado los cuatro separadores metálicos.

Seguidamente se montarán el condensador variable CV15 y el potenciómetro de volumen P1. Este último componente precisa una pieza soporte soldada a la placa; además sobre sus ejes se han montado los botones de mando. Se ha insertado también la bobina L1 en su alojamiento.



Con objeto de poder variar la banda de sintonía se puede sustituir la bobina L1 anterior de seis espiras por otra menor, así en la imagen puede verse un detalle de otra bobina de una espira para alcanzar los 170 MHz. Pueden ser construidas por uno mismo arrollando hilo desnudo sobre un lápiz.





Sintonizador de AM y FM

UNO de los aparatos que resultan completamente imprescindibles en un sistema o cadena de alta fidelidad es el sintonizador, que constituye el equipo destinado a recoger y reproducir las señales enviadas por las emisoras de radio, las cuales, y en el caso de Frecuencia Modulada (FM), poseen una calidad excelente y, por tanto, pueden ser incluidas dentro del concepto de Hi-Fi al satisfacer todos los requisitos y normas exigidos. Este equipo y en general todos aquellos que responden a la denominación de sintonizador responden al concepto de *fuentes de señal* o de programa, de una manera análoga al resto de aparatos reproductores como el fonochasis y el magnetófono, su función será, por tanto, la de extraer la información de sonido de las señales radioeléctricas y entregarla a su salida en la forma de una baja frecuencia a un bajo nivel que resulta insuficiente para excitar a un altavoz, aunque sí resulta perfectamente adecuada como entrada de un preamplificador, al igual que el resto de señales de las fuentes mencionadas.

Dado el interés que presenta este aparato para el aficionado, se va a describir el montaje de dos modelos de sintonizadores que poseen, tanto uno como el otro, unas excelentes características. El primero de los descritos (modelo A) es necesario montarle y ajustarle por completo. El segundo equipo (modelo B) parte de un kit que contiene, perfectamente montados y ajustados, los dos circuitos más críticos para el funcionamiento. De esta forma el aficionado podrá elegir la opción que más le convenga en función de sus conocimientos y habilidad.

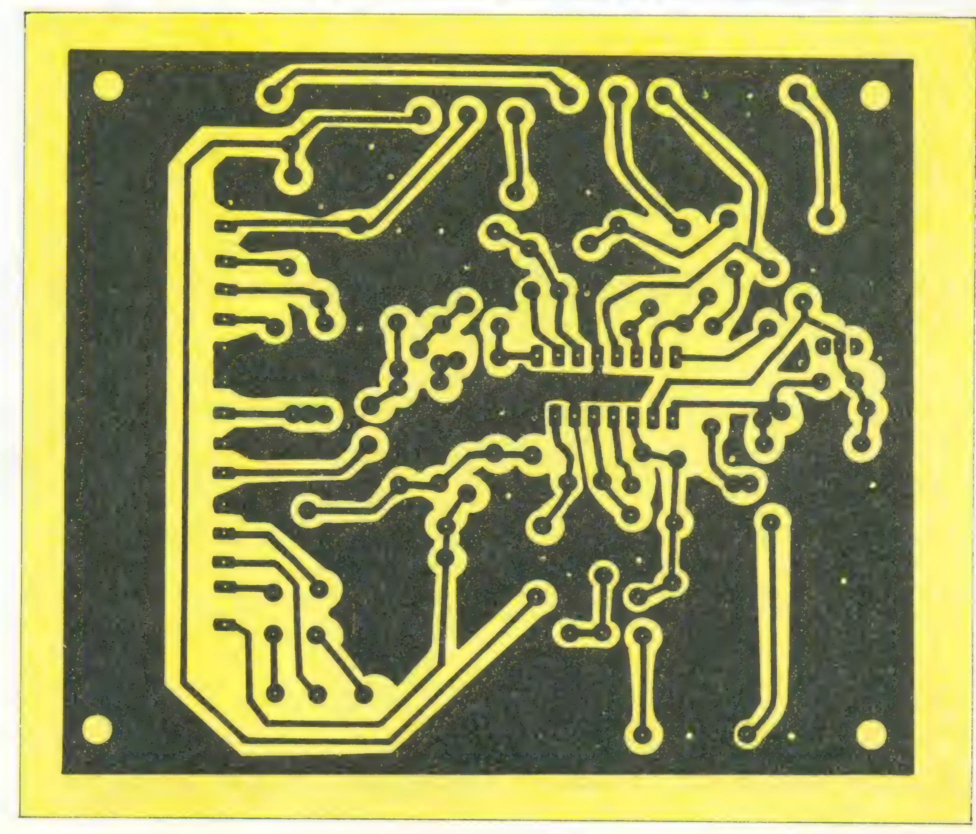
Modelo A

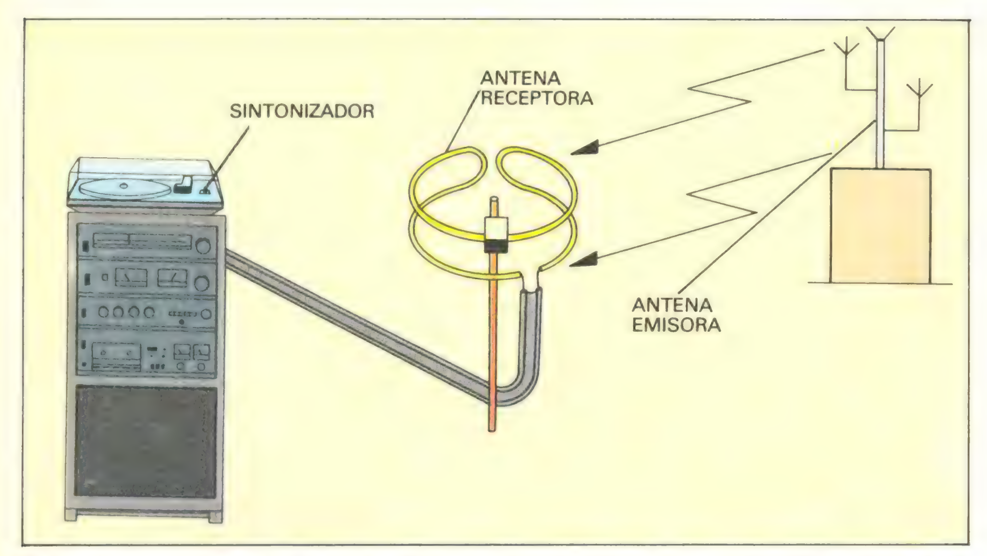
Con este equipo se consiguen unas excelentes prestaciones y que puede encontrarse en el mercado bajo la forma de varios kits que contienen todos los materiales necesarios. Este sintonizador, una vez terminado, presenta las siguientes características:
• Sensibilidad para FM: 2μV • Sensibi-



Este es el conjunto de materiales perteneciente al kit de Frecuencia Intermedia de FM, en el que se incluye otro circuito totalmente terminado correspondiente a la Cabeza Sintonizadora, que se encuentra en la zona superior derecha.

Circuito impreso destinado a la frecuencia intermedia de FM. Tamaño real.





El sintonizador constituye el equipo destinado a recoger y reproducir las señales enviadas por las emisoras de radio, actuando como fuente de programa para el amplificador.

dor de recepción en estéreo por diodo Led.

El diseño del equipo es completamente modular, por lo que pueden montarse por separado los diferentes circuitos que le forman para al final realizar el ensamblaje de todos ellos sobre un mueble preparado para esta finalidad. Todos los módulos se corresponden con un determinado kit y pueden ser adquiridos de forma independiente.

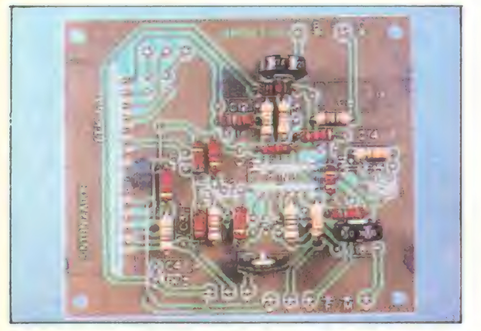
La relación completa de circuitos y conjuntos modulares es la siguiente:

— Módulo de Frecuencia Intermedia para FM correspondiente al CARKIT n.º 136R.

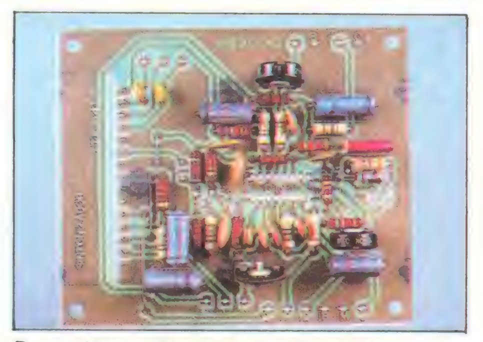
— Módulo Decodificador para Emisiones Estereofónicas, que corresponde al CARKIT n.º 137R.

— Módulo Sintonizador de Onda Media (AM), correspondiente al CARKIT n.º 138R.

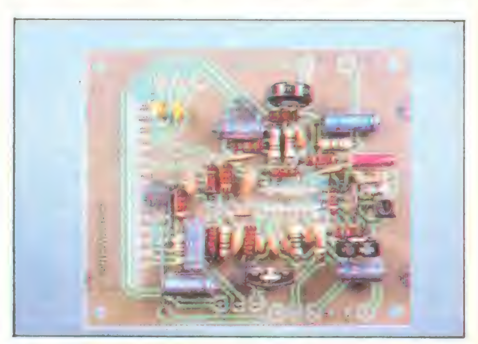
— Fuente de Alimentación Estabilizada, correspondiente al CARKIT n.º 139R.



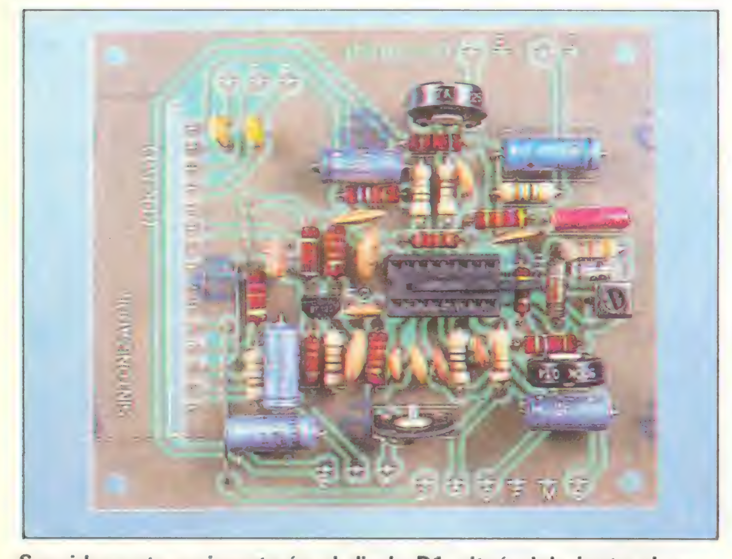
Como puede observarse, en primer lugar se han montado tres puentes de hilo desnudo, así como todas las resistencias de la placa tanto fijas como variables.



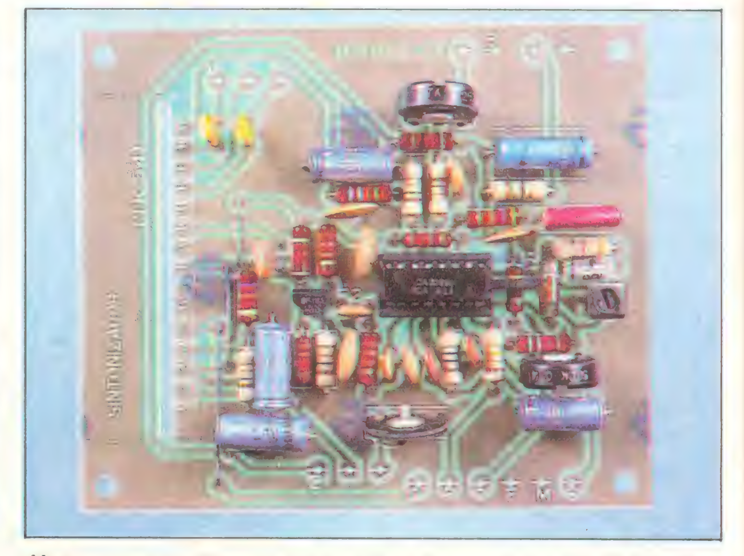
Después se colocará la totalidad de condensadores de los que como puede verse, se encuentran de los tipos cerámico, poliéster y electrolíticos, siendo necesario tener en cuenta la polaridad en la posición de estos últimos.



Ahora, según se observa, se montarán las dos bobinas de la placa en los lugares indicados como CH1 y L1. Esta última posee una caja metálica que actúa como blindaje.

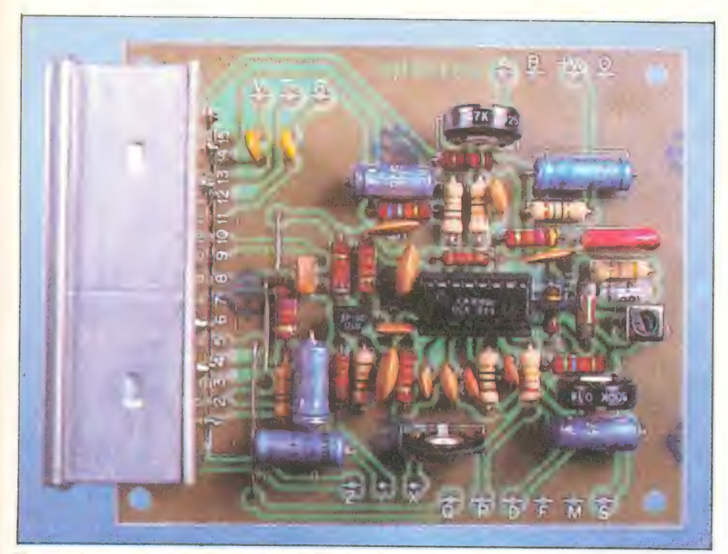


Seguidamente se insertarán el diodo D1, situándole junto al condensador C4, así como el transistor TR1 y el zócalo del circuito integrado CIN1 en la forma que se indica en la fotografía.

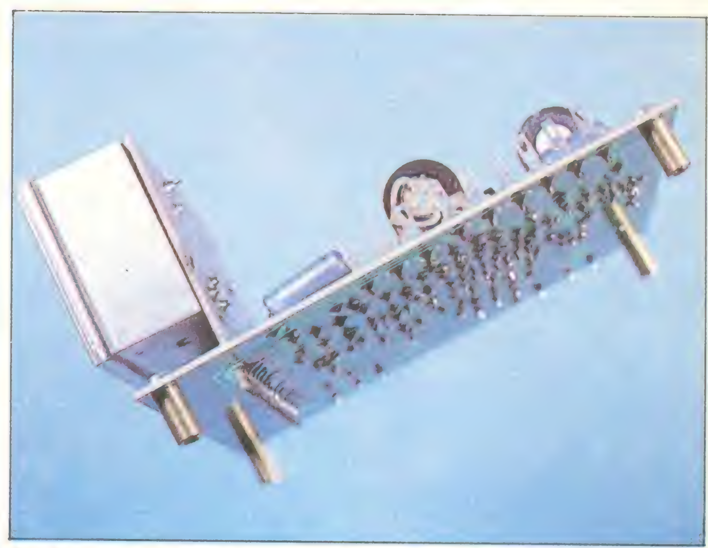


Una vez que se dispone del zócalo ya instalado y soldado a la placa se alojará en el mismo el circuito integrado, según la orientación que se observa. Para ello se ejercerá una ligera presión para que todos sus terminales penetren adecuadamente.

lidad para AM: 15 μV • Distorsión: inferior al 1 % • Relación señal/ruido: superior a 67 dB • Decodificador para señales estereofónicas de FM • Sintonía electrónica en FM • Sintonía por condensador variable en AM • Conmutación electrónica de bandas • Silenciador o «muting» • Control automático de frecuencia (CAF) • Indicador de sintonía por vúmetro • Indicador de recepción en estéreo por diodo Led.



Después se insertará la Cabeza Sintonizadora en la ranura que posee la placa, de forma que ambas formen un ángulo recto. Por la cara del cobre se efectuarán las soldaduras entre las placas aportando una cantidad suficiente de estaño-plomo.



La última operación corresponde al montaje de los terminales de espadín y de los cuatro separadores metálicos destinados a la fijación mecánica del circuito.

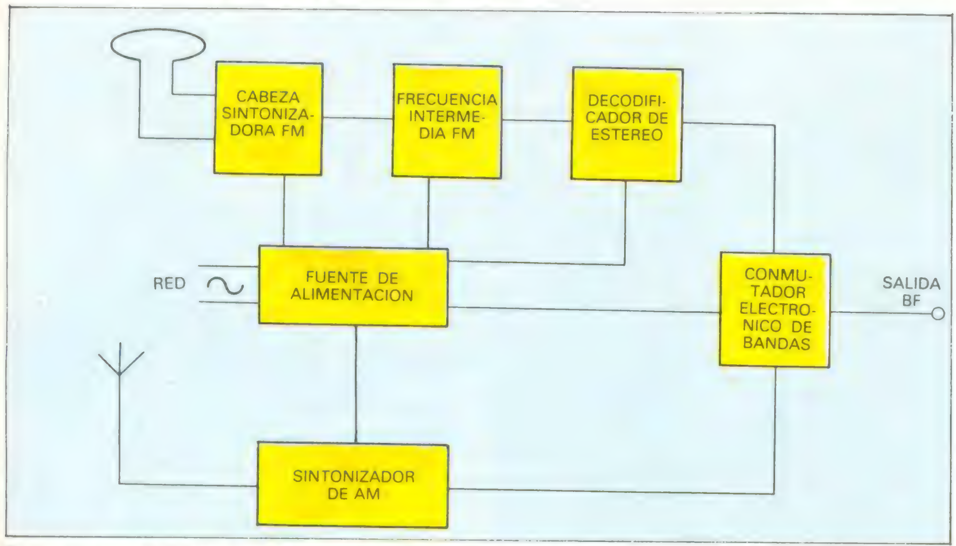
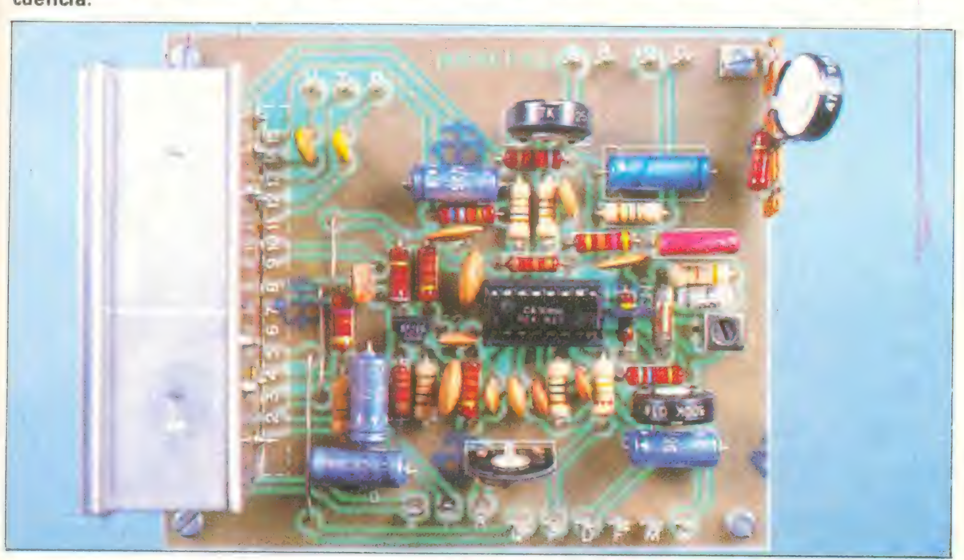


Diagrama de bloques en el que se representan los diversos módulos que componen el sintonizador (modelo A).



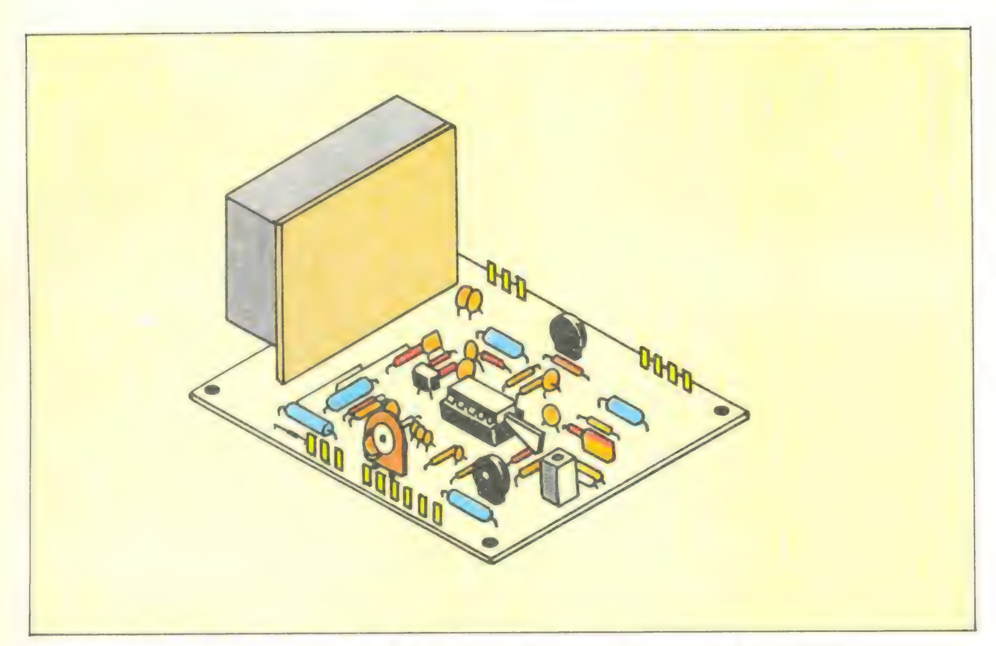
Este kit contiene además una regleta de conexiones y dos resistencias identificadas como Ra del tipo variable y Rb fija. Ambas se montarán sobre la regleta anterior según indica la fotografía.

El conjunto de la regleta anterior se fijará a la placa aprovechando uno de los tornillos de sujeción de los separadores y estará destinada al ajuste del Control Automático de Frecuencia.

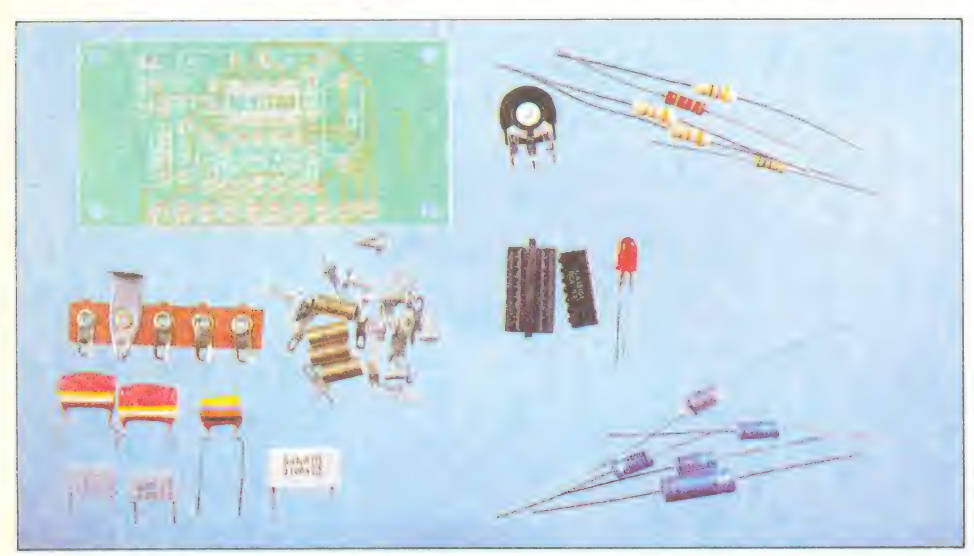


Esquema de conexiones de la Cabeza Sintonizadora.



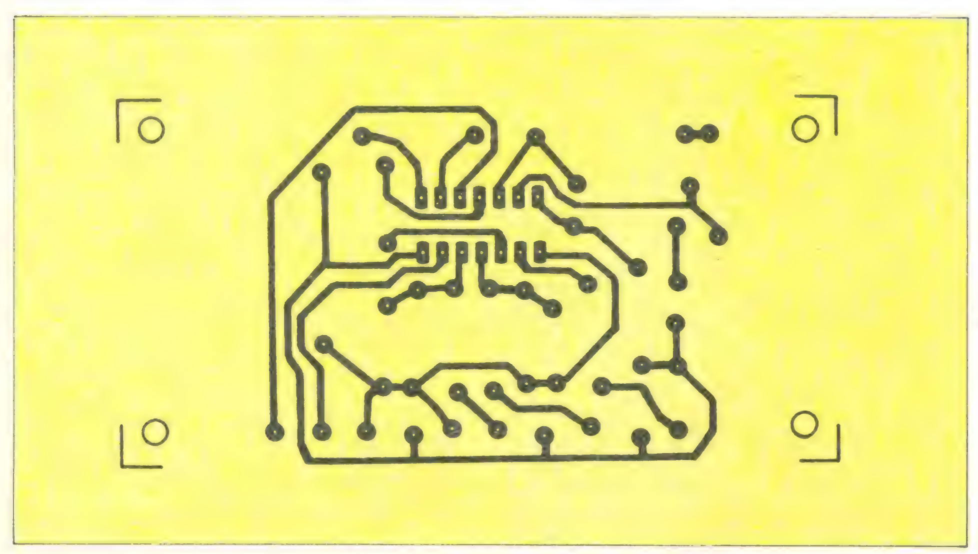


Montaje de componentes sobre el circuito de Frecuencia Intermedia de FM.



Se observa en la fotografía el conjunto de materiales que compone el kit del Decodificador Estereofónico. En él se encuentra un diodo Led que no está destinado al circuito impreso, empleándose más adelante durante el montaje de la caja del equipo.

Circuito impreso del decodificador estereofónico. Tamaño real.

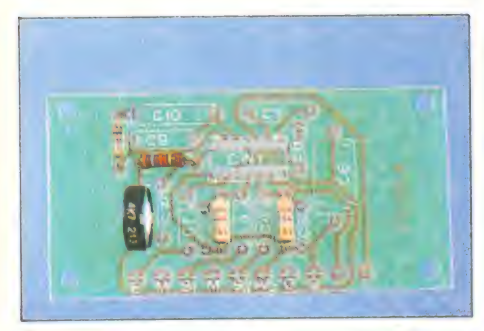


— Conjunto de caja para el montaje del Sintonizador que corresponde al CARKIT n.º 140R.

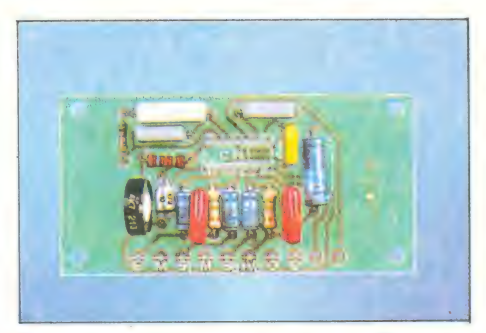
Cada uno de los conjuntos modulares de los circuitos están formados por los materiales siguientes:

Frecuencia Intermedia para FM

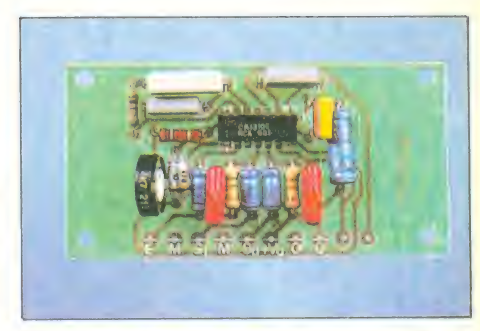
• R1: Resistencia 1/2 W 10 K • R2: Resistencia 1/2 W 27 K • R3: Resistencia ajustable 10 K • R4: Resistencia 1/2 W 82 Ω • R5: Resistencia 1/2 W 3 K3 • R6: Resistencia 1/2 W 8 K2 • R7: Resistencia 1/2 W 1 K • R8: Resistencia 1/2 W 330 Ω • R9: Resistencia 1/2 W 120 Ω • R10: Resistencia 1/2 W 330 Ω • R11: Resistencia 1/2 W 68 K • R12: Resistencia 1/2 W 15 Ω • R13: Resistencia 1/2 W 10 K • R14: Resistencia ajustable 47 K • R15: Resistencia 1/2 W 10 K • R16: Resistencia 1/2 W 3 K9 • R17: Resistencia 1/2 W 5 K6 • R18: Resistencia 1/2 W 220 K • R19: Resistencia ajustable 470 K • R20: Resistencia 1/2 W 4 K7 • R21: Resistencia 1/2 W 470 Ω • R22a: Resistencia 1/2 W 10 Ω, estéreo • R22b: Resistencia 1/2 W 2 K7, mono • Ra: Resistencia ajustable 47 K • Rb: Resistencia 1/2 W 22 K • P1: Potenciómetro de panel s/i lin 50 K • C1: Condensador de disco 390 pF • C2: Condensador de disco 390 pF • C3: Condensador electrolítico 6,4 µF/25 V • C4: Condensador electrolítico 6,4 µF/25 V • C5: Condensador de disco 47 K/30 V • C6: Condensador de disco 47 K/30 V • C7: Condensador de disco 47 K/30 V • C8: Condensador electrolítico 125 µF/16 V • C9: Condensador de disco 22 K/30 V • C10: Condensador de disco 10 K/30 V • C11: Condensador de disco 47 K/30 V • C12: Condensador electrolítico 6,4 µF/25 V • C13: Condensador de disco 1 K • C14: Condensador placo 220 K/250 V • C15: Condensador Styroflex 100 pF/250 V • C16a: Condensador de disco 180 pF, estéreo • C16b: Condensador de disco 1 K, mono • C17a: Condensador de disco 180 pF, estéreo • C17b: Condensador de disco 1 K, mono • C18: Condensador electrolítico 6,4 µF/25 V • L1: Bobina discriminadora 10,7 MHz • CH1: Choque sobre ferrita • F1: Filtro cerámico de 10,7 MHz de 3 terminales • F2: Filtro cerámico de 10,7 MHz de 3 terminales • TR1: Transistor BF195 • CIN1: Circuito integrado CA3089E • D1: Diodo zener BZY88 C9V1 ó BZX79 C9V1 • Cabeza sintonizadora • Placa de circuito impreso • 1 conector para circuito integrado de



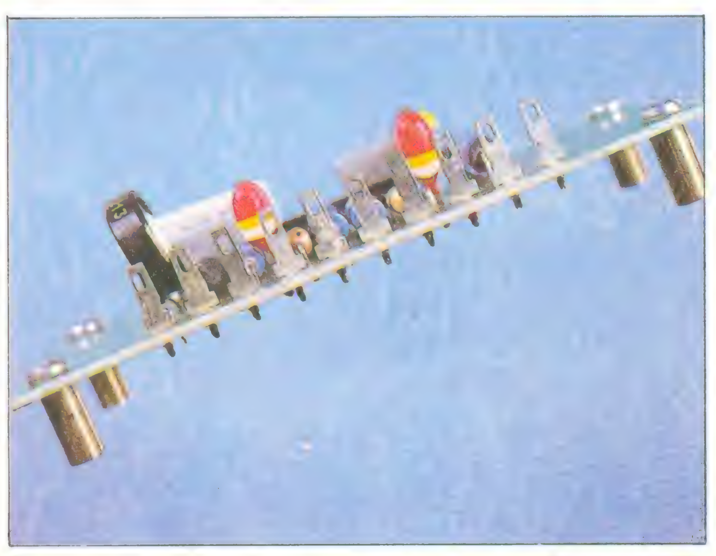
Como en el circuito anterior, la primera operación es la del montaje de cuatro resistencias fijas y una variable sobre el circuito impreso, en los lugares indicados por la serigrafía.



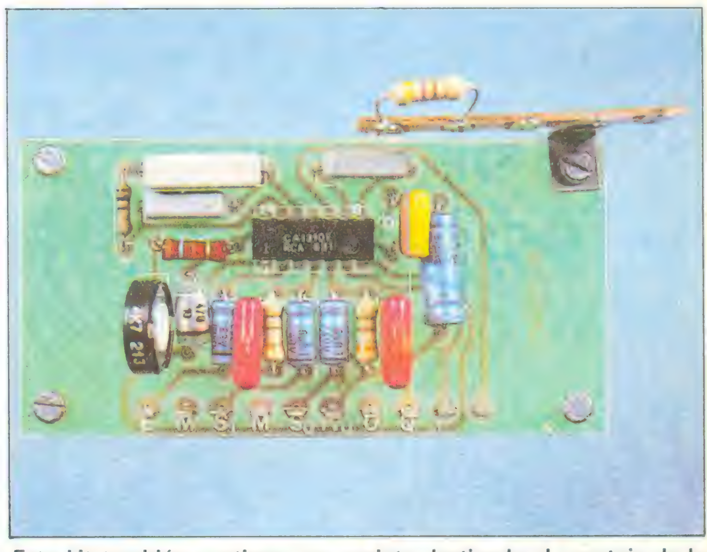
Después se deben montar los condensadores, entre los que se encuentra uno del tipo styroflex destinado a la posición C7. Los restantes son de poliéster y electrolíticos.



El único elemento semiconductor destinado a la placa es el circuito integrado CIN1 el cual puede montarse empleando un zócalo intermedio o bien directamente, como muestra la fotografía.



El circuito se completará con los terminales de espadín y los cuatro separadores para fijación mecánica, según puede verse en la imagen.

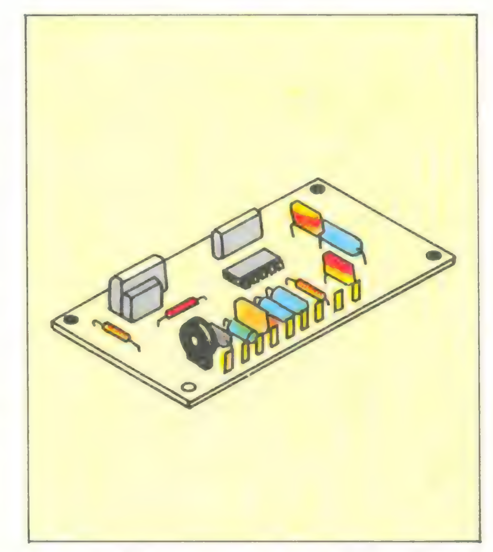


Este kit también contiene una regleta destinada al montaje de la resistencia de polarización del Led, identificada con Ra. Su montaje puede realizarse sobre uno de los tornillos de los separadores.

16 patillas • 1 regleta aislachasis de 3 terminales • 4 separadores metálicos de 10 milímetros • 8 tornillos de 1/8 × 16 s/tuerca • 0,5 metros de hilo rígido plateado para puentes • 16 terminales de espadín • 1 atornillador calibrador de ajuste.

Decodificador de estéreo

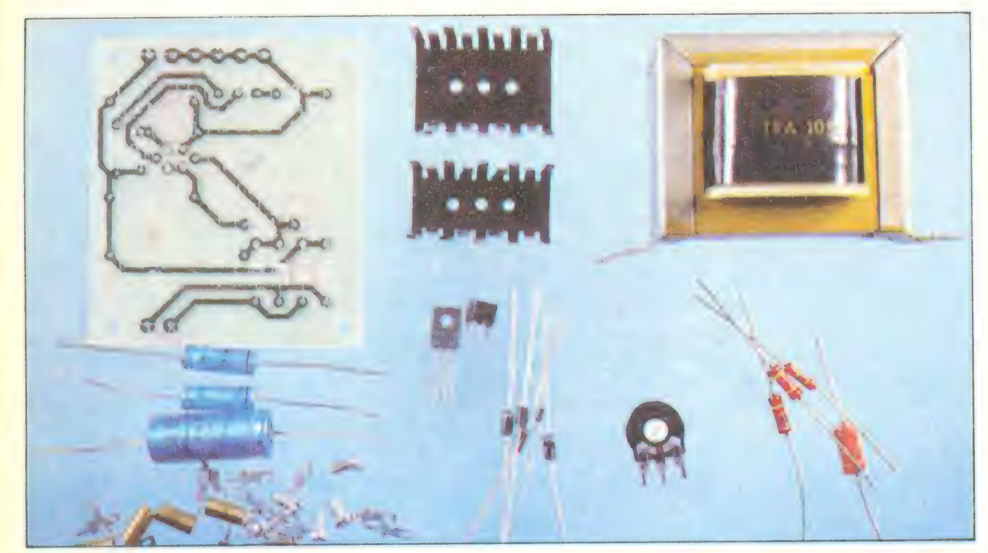
• R1: Resistencia 1/2 W 3 K9 • R2: Resistencia 1/2 W 3 K9 • R3: Resistencia ajustable 5 K • R4: Resistencia 1/2 W 18 K • R5: Resistencia 1/2 W 1 K • Ra: Resistencia 1/2 W 470 Ω • C1: Condensador electrolítico 2,5 µF/16 V o 64 V • C2: Condensador placo 22 K/250 V • C3: Condensador electrolítico 6,4 µF/25 V • C4: Condensador electrolítico 6,4 µF/25 V • C5: Condensador placo 22 K/250 V • C6: Condensador electrolítico 125 µF/16 V • C7: Condensador Styroflex 470 pF • C8: Condensador placo 47 K/250 V • C9: Condensador placo 220 K/250 V • C10: Condensador placo 470 K/250 V • C11: Condensador placo 220 K/250 V • CIN1: Circuito integrado 1310 • Led1: Diodo Led indicador estéreo • Placa de circuito impreso • 1 conector para circuito integrado de 14 patillas • 4 separadores metálicos de 10 milímetros • 8 tornillos de 1/8 × 6 s/tuerca • 10 terminales de espadín • 1 regleta aislante de 4 terminales.



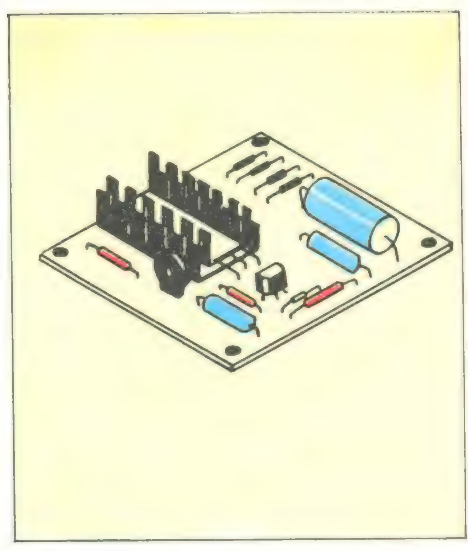
Montaje de componentes en el circuito del Decodificador Estereofónico.

Sintonizador de Onda Media

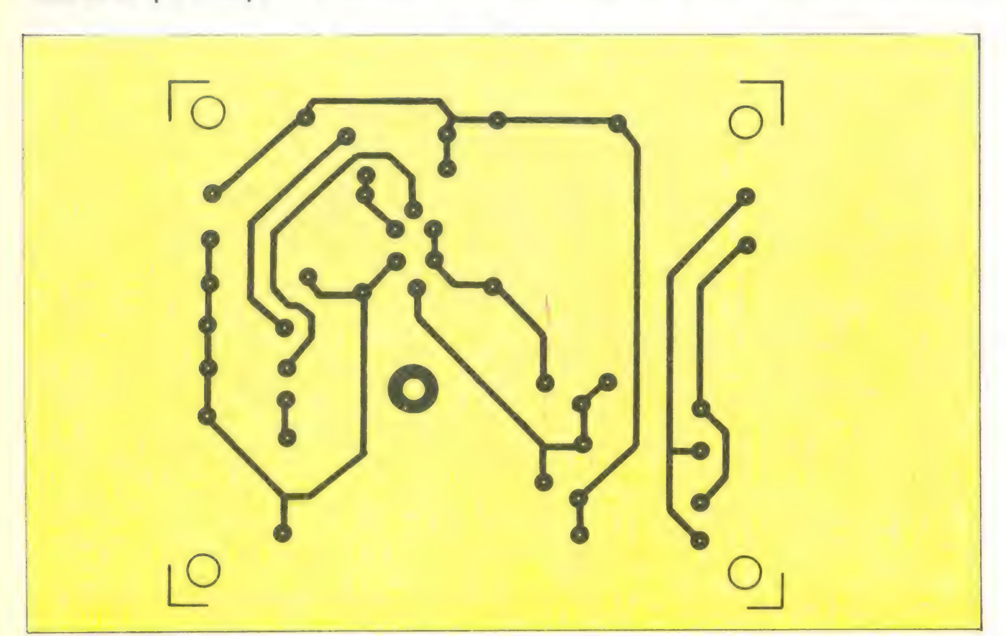
• R1: Resistencia 1/2 W 560 K • R2: Resistencia 1/2 W 560 Ω • R3: Resistencia 1/2 W 10 Ω • R4: Resistencia 1/2 W 470 Ω • R5: Resistencia 1/2 W 270 K • R6: Resistencia 1/2 W 100 K • R7: Resistencia 1/2 W 1 K5 • R8: Resistencia 1/2 W 270 K • R9: Resistencia 1/2 W 1 K • R10: Resistencia ajustable 470 K • R11: Resistencia ajustable 5 K • R12: Resistencia 1/2 W 1 K • R13: Resistencia 1/2 W 22 K • R14: Resistencia 1/2 W 560 Ω • C1a: Condensador variable 2 × × 220 pF de aire con reductor • C1b: Condensador variable 2 × 220 pF de aire con reductor • C2: Condensador de disco 1 K • C3: Condensador placo 47 K/250 V • C4: Condensador Trimer cerámico 4,5/20 pF • C5: Condensador Trimer cerámico 4,5



Este es el conjunto de materiales perteneciente al kit de la fuente de alimentación. Puede observarse que incluye un transformador destinado al montaje sobre la caja del equipo.



Montaje de componentes en el circuito de la fuente de alimentación.



Circuito impreso de la fuente de alimentación. Tamaño real.

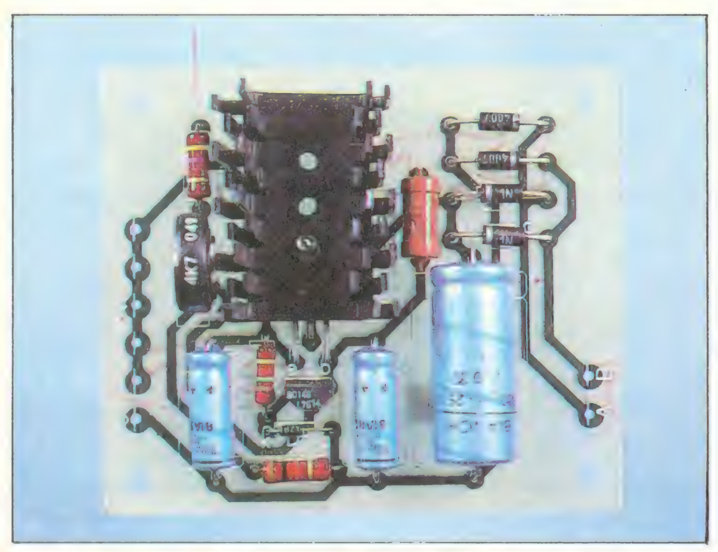
El montaje se inicia situando las cuatro resistencias sobre sus posiciones respectivas, seguidas de los tres condensadores electrolíticos cuya correcta orientación corresponde a la indicada en la imagen.



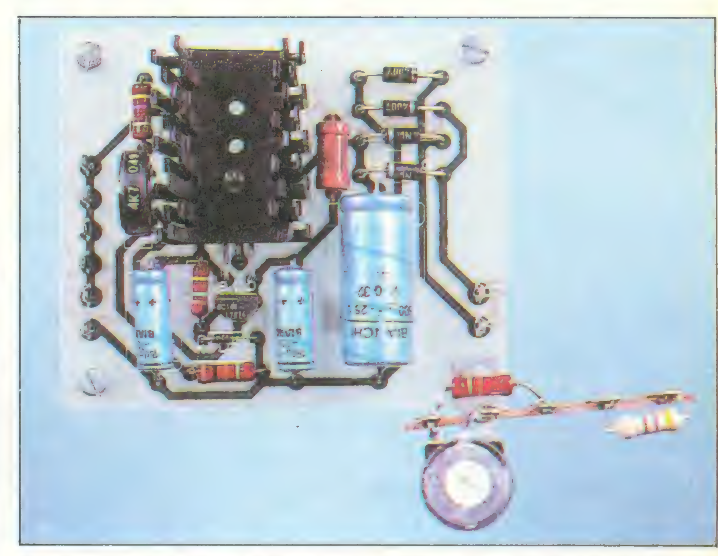
20 pF • C6: Condensador placo 15 K/250 V • C7: Condensador placo 10 K/250 V • C8: Condensador Styroflex 220 pF/125 V • C9: Condensador placo 100 K/250 V • C10: Condensador electrolítico 2,5 µF/16 V • C11: Condensador electrolítico 2,5 µF/16 V • C12: Condensador placo 47 K/250 V • C13: Condensador placo 47 K/250 V • C14: Condensador placo 47 K/250 V • C15: Condensador de disco 4 K7 • C16: Condensador de disco 4 K7 • C17: Condensador de disco 4 K7 • C18: Condensador electrolítico 2,5 µF/16 V • C19: Condensador electrolítico 125 µF/10 V • C20: Condensador de disco 4 K7 • L1: Bobina de antena • L2: Bobina osciladora HO21/213 • T1: Transformador FI S101/563, amarillo • T2: Transformador FI S201/563, blanco • T3: Transformador FI S301/563, negro • TR1: Transistor BF 194 • TR2: Transistor BF195 • TR3: Transistor BF195 • D1: Diodo OA90 • D2: Diodo OA90 • D3: Diodo OA90 • D4: Diodo zener BZY88 C5V6 o BZX79 C5V6 • Placa de circuito impreso • 4 separadores metálicos de 10 milímetros • 8 tornillos de 1/8 × 6 milímetros s/tuerca • 10 terminales de espadín • 1 atornillador calibrador especial.

Fuente de alimentación

• R1: Resistencia 1/2 W 1 K • R2: Resistencia 1/2 W 1 K5 • R3: Resistencia 1/2 W 10 K • R4: Resistencia 1/2 W 4 K7 • R5: Resistencia ajustable 5 K • C1: Condensador electrolítico 680 µF/25 V • C2: Condensador electrolítico 125 µF/16 V • C3: Condensador electrolítico 125 µF/16 V • TR1: Transistor BC148 • TR2: Tran-



Después se montarán los cuatro diodos rectificadores, el zener y los transistores TR1 y TR2. Con este último es necesario instalar los dos disipadores que incluye el kit, utilizando un tornillo M2 con tuerca para garantizar la fijación del conjunto a la placa.



Este módulo se podrá dar por terminado con la inserción de los terminales de espadín y de los cuatro separadores metálicos. Se observa que sobre uno de ellos se ha incluido una regleta agrupando los componentes que se habían distribuido sobre otros circuitos para facilitar así el cableado.

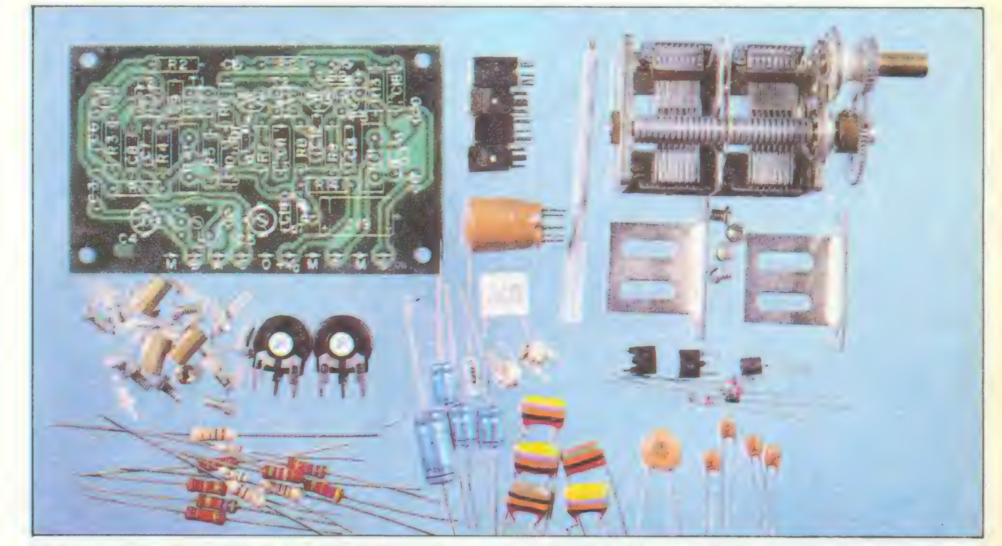
sistor BD135 • D1: Diodo F16 • D2: Diodo F16 • D3: Diodo F16 • D4: Diodo F16 • D5: Diodo zener BZY88 C7V5 o BZX79 C7V5 • Placa de circuito impreso • 1 radiador en U grande • 1 radiador en U pequeño • 4 separadores metálicos de 10 milímetros • 8 tornillos de 1/8 × 6 milímetros s/tuerca • 1 tornillo fino largo c/tuerca • 8 terminales de espadín.

Montaje de circuitos

Con los circuitos y ya entrando de lleno en el montaje de los mismos, se procederá según un orden previamente establecido que aunque en principio podría ser cualquiera, se ha preferido seguir la secuencia indicada anteriormente, es decir, que se comenzará con el de Frecuencia Intermedia para seguir con el Decodificador de Estéreo, Sintonizador de Onda Media y Fuente de Alimentación.

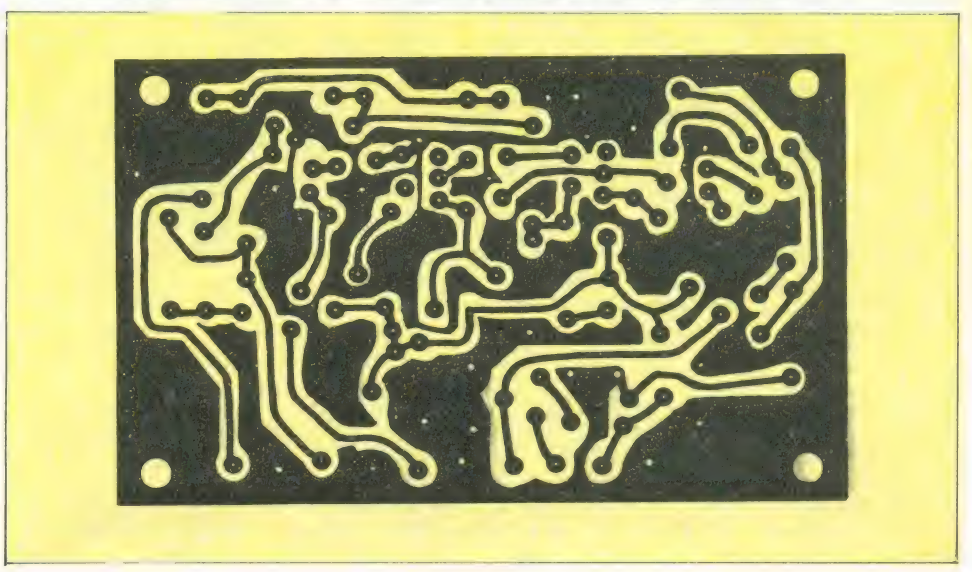
La primera operación será la clasificación de todos los componentes por grupos, teniendo presente las indicaciones de las listas de materiales.

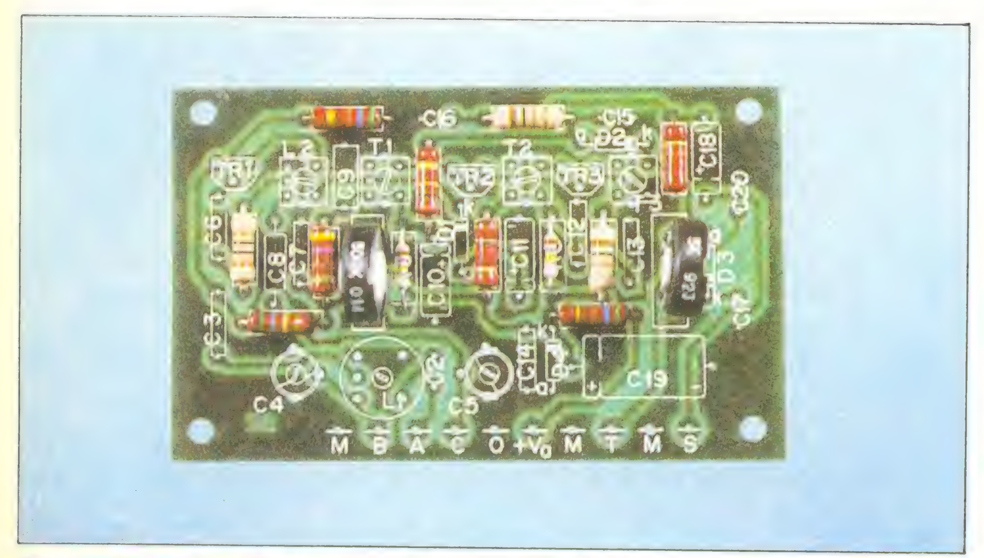
El montaje de los puentes de hilo, resistencias y condensadores no debe de ofrecer ningún tipo de problemas, ya que bastará con doblar los terminales en ángulo recto e insertarlos en las posiciones indicadas por la serigrafía de la placa. En los casos en que dichos terminales sean radiales, como en los condensadores cerámicos y de plaqueta, no será necesaria la operación anterior y podrán montarse directamente. Los electrolíticos sólo admiten una posición determinada, que se



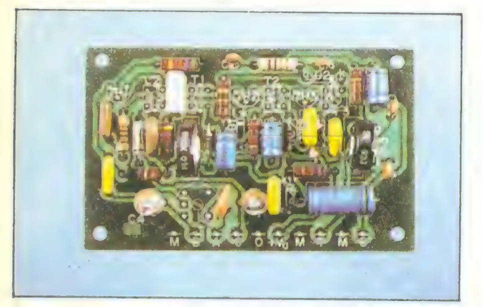
El kit que se observa en la fotografía corresponde al módulo Sintonizador de Onda Media (AM) y contiene todos los elementos necesarios para la sintonía, obtención de la FI y demodulación, entregando la señal de salida en baja frecuencia.

Circuito impreso del módulo sintonizador de Onda Media. Tamaño real.

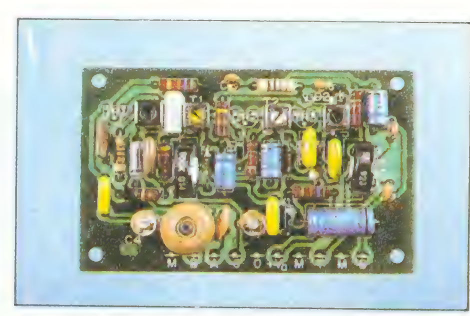




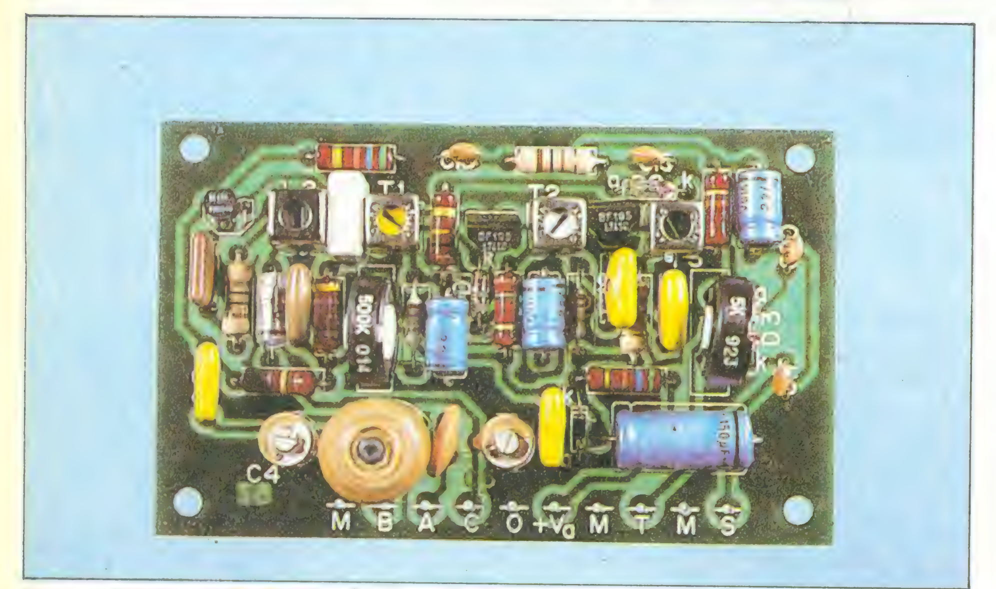
Como puede verse, se han instalado en primer lugar todas las resistencias, fijas y variables, de la placa en los lugares indicados mediante la serigrafía.



A continuación se montarán los condensadores que como se observa en la imagen son de los tipos cerámicos, styroflex, poliéster y electrolíticos. Se incluyen dos del tipo trimer variable para las posiciones C4 y C5.

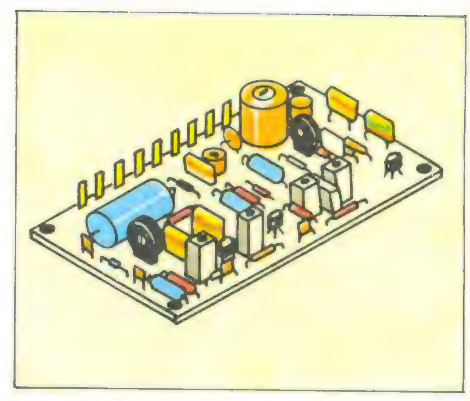


Seguidamente se colocarán las cinco bobinas y transformadores de frecuencia intermedia. La posición correcta de éstas está indicada mediante el color de su tornillo ajustable que se corresponde con el indicado en la lista de materiales.



Después se realizará el montaje de todos los semiconductores, comenzando con los tres diodos, el zener y los tres transistores, identificando previamente a estos últimos, ya que pertenecen a dos tipos diferentes.

encuentra perfectamente indicada mediante la imagen serigráfica.
En los circuitos de Frecuencia Intermedia y Sintonizador de Onda Media se montará a continuación el juego de bobinas y transformadores de alta frecuencia que incluye cada kit y en el primero se incluirán también los dos filtros cerámicos de tres terminales, haciendo coincidir el señalado con un punto de color con el taladro que contiene una indicación con la forma de un pequeño círculo.



Montaje de componentes sobre el circuito Sintonizador de Onda Media.

Después se pasará a insertar todos los semiconductores, comenzando con los diodos para seguir con los transistores y circuitos integrados. Previamente se habrán identificado para evitar confusiones en el montaje.
En la fuente de alimentación el transistor destinado a la posición TR2 debe de ser instalado sobre un disipador de calor. De esta manera se mejora la evacuación al ambiente de la potencia que se transforma en calor durante su funcionamiento. El montaje se realizará situando inicialmente el radiador de mayor tamaño apoyado sobre la superficie del circuito impreso; sobre éste se colocará el transistor de forma que el área metalizada de su cápsula quede en contacto con el elemento anterior. Los terminales se doblarán en ángulo recto para hacerles coincidir con los taladros de la placa, con la precaución de que tanto los orificios de fijación del radiador como del transistor resulten completamente alineados con el correspondiente del circuito. Sobre el conjunto anterior se situará el segundo radiador, cuya forma es muy similar a la del primero, aunque con un tamaño menor y se tomará también como referencia el orificio anteriormente indicado. Después se fijarán mecánicamente todos los elementos anteriores con un tornillo fino M2 con tuerca que les atravesará de abajo a arriba, pasando por el taladro empleado como referencia para el montaje. En el circuito de Frecuencia Intermedia se montará seguidamente la cabeza sintonizadora, que consiste en un circuito impreso con una caja metálica que actúa como blindaje de todos los componentes. Este circuito posee en uno de sus lados una zona de conexión en la que se encuentran todos los puntos de enlace con el exterior.

Su montaje se efectuará insertando la zona indicada sobre la ranura que posee la primera placa, haciendo que ambos permanezcan formando un ángulo de 90º. Por la cara del cobre se efectuarán las soldaduras de ambas placas, aportando la suficiente cantidad de aleación de estaño-plomo para que las uniones obtenidas sean fiables. Las últimas operaciones de montaje corresponden a la inserción de los espadines y la fijación con tornillos de los separadores, que permitirán la sujeción posterior de todas las placas al mueble del equipo.

Además de todo lo indicado, será necesario montar dos regletas aisladas del chasis destinadas a los módulos de Frecuencia Intermedia y Decodificador de Estéreo. En la primera se instalarán las resistencias indicadas con Ra y Rb en la lista de materiales y en la segunda se montará la señalada con Ra en su propia lista. Ambas se fijarán con uno de los tornillos de los separadores.

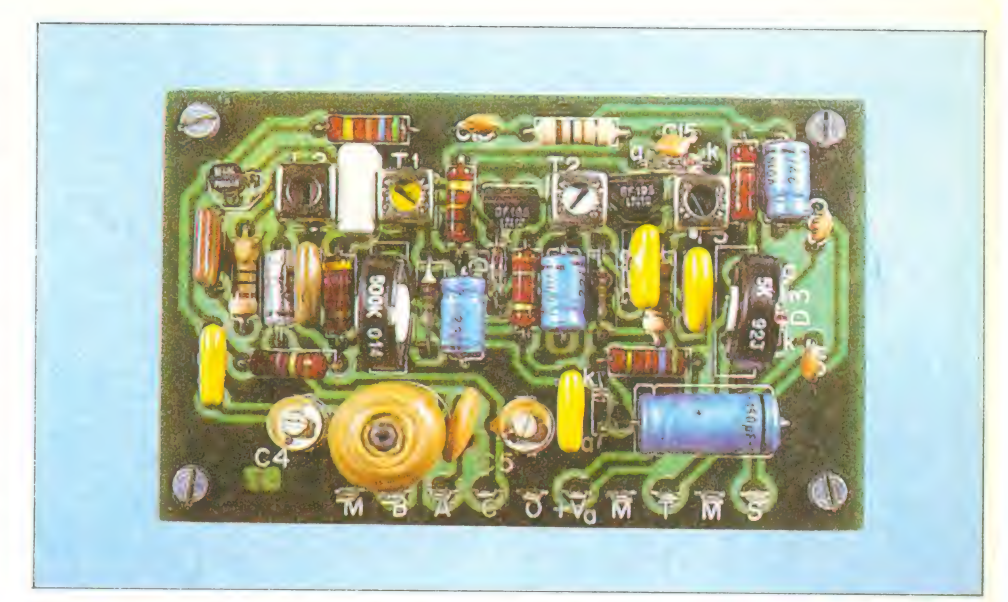
También puede optarse por utilizar una única regleta, de mayor longitud que las anteriores, sobre la que se sitúen los tres componentes mencionados, efectuando entre ellos las conexiones necesarias. En este caso la fijación podrá realizarse sobre un tornillo de la Fuente de Alimentación. En los kits correspondientes a los circuitos de Frecuencia Intermedia y Sintonizador de Onda Media se incluyen un potenciómetro de panel y un condensador variable de aire respectivamente, que están destinados a sintonía y cuyo montaje se efectuará directamente sobre la caja del aparato en el momento oportuno.

También puede aparecer una pequeña dificultad en el primero de los circuitos anteriores con el valor de la resistencia destinada a la posición R22 y con los condensadores C16 y C17, ya que en los tres casos se indican dos diferentes valores según la alternativa de funcionamiento que se elija de las dos posibles: monofónico o estereofónico.

Para la primera se tomarán los valores indicados con *b*, es decir, R22b, C16b y C17b y para la segunda los indicados con *a* (R22a, C16a y C17a).

Montaje en la caja

La segunda parte de la construcción del equipo corresponde al montaje de todos los elementos incluidos en el kit correspondiente a la caja o mueble que sirve de alojamiento al sintonizador, para después proceder al ca-

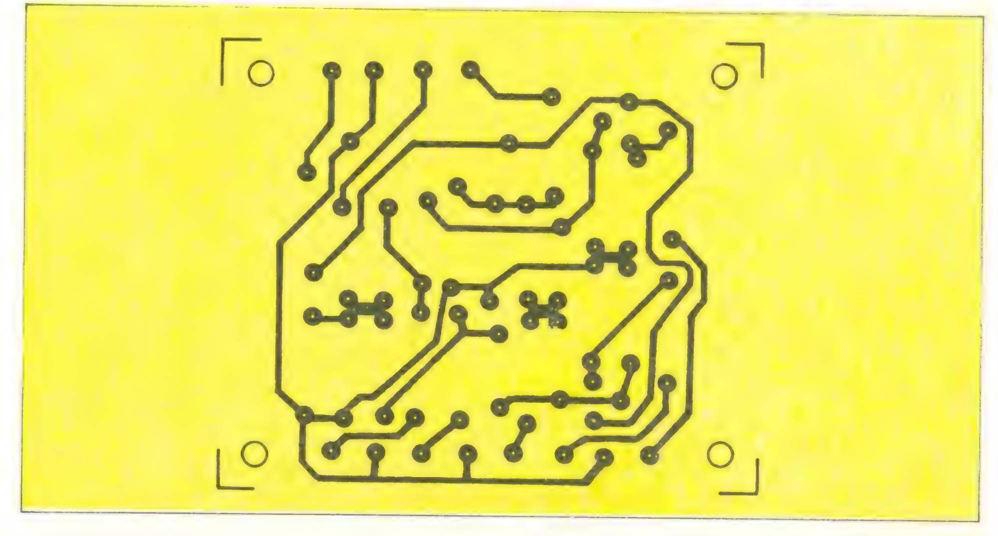


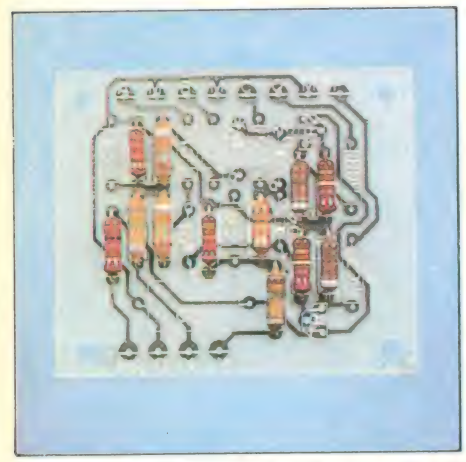
Por último, y al igual que en circuitos anteriores, se montarán los espadines y los separadores destinados a la fijación mecánica.



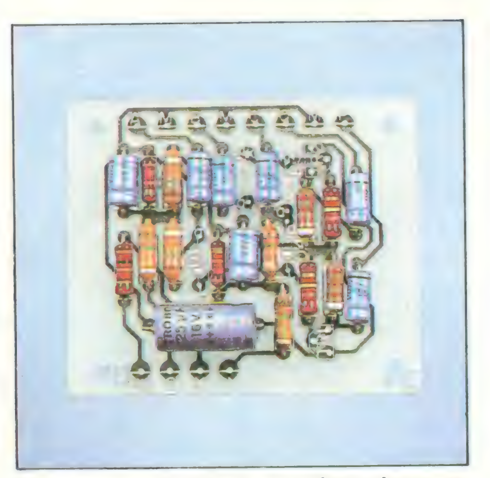
Conjunto completo de materiales que contiene el kit correspondiente a la caja del Sintonizador (modelo A). Entre ellos se encuentran dos circuitos que deberán ser montados previamente.

Circuito impreso del conmutador electrónico de bandas. Tamaño real.

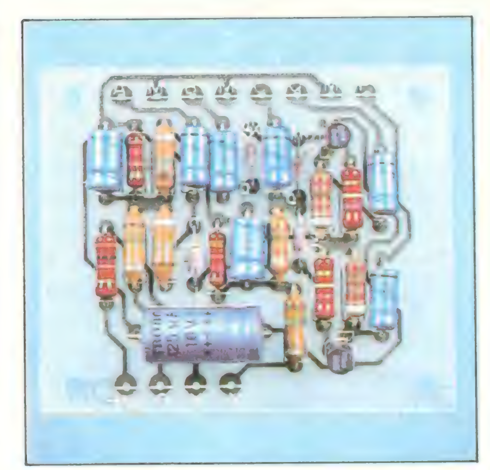




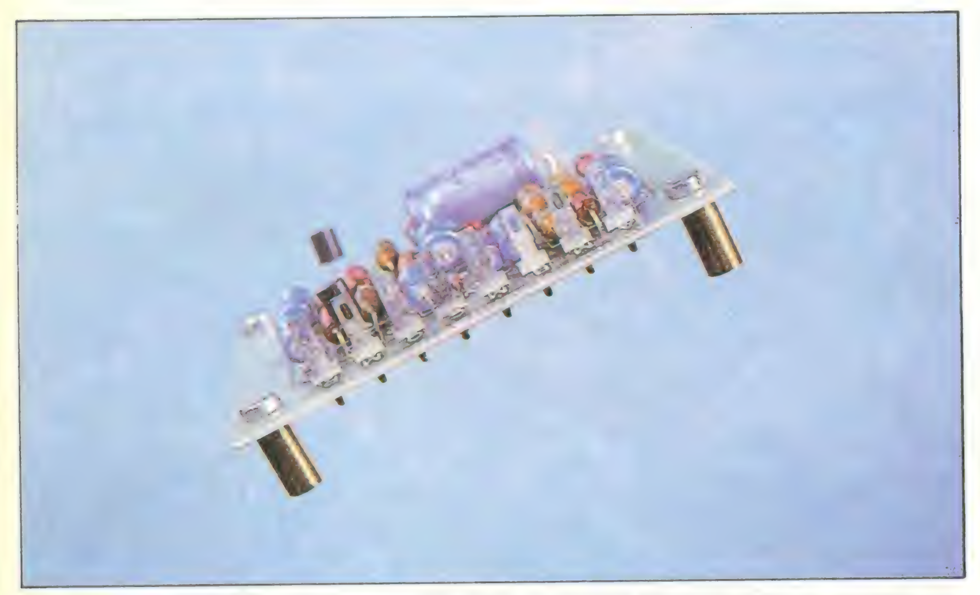
Primera fase de montaje del conmutador electrónico de bandas. En ella se insertarán todas las resistencias.



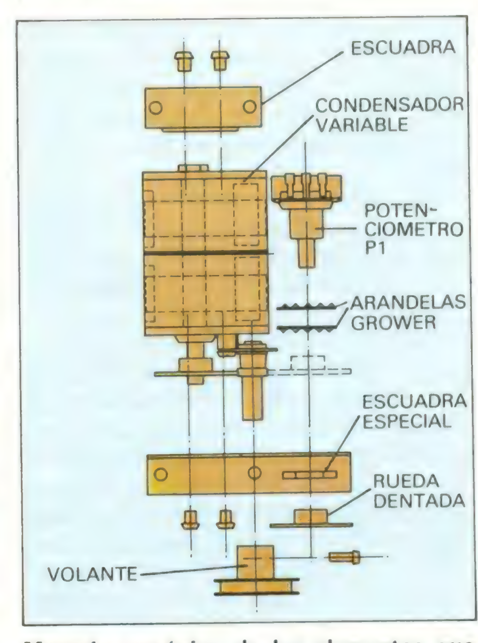
Ahora se montarán los condensadores en sus posiciones respectivas. Como puede observarse son todos del tipo electrolítico.



Montaje de los semiconductores. En esta fase se insertarán los cuatro diodos y los dos transistores según la forma mostrada por la fotografía.

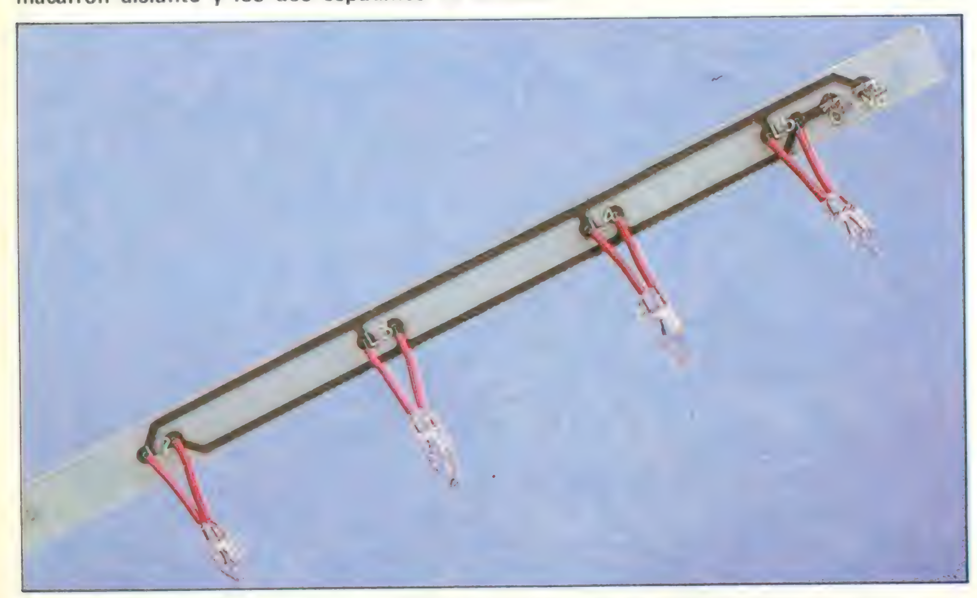


Por último, y para terminar esta placa, se colocarán todos los terminales de espadín y los cuatro separadores metálicos.



Montaje mecánico de los elementos que componen el conjunto de sintonía.

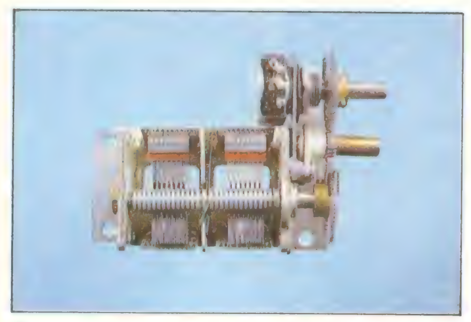
Sobre la segunda placa se montarán cuatro lamparitas piloto con sus rabillos enfundados en macarrón aislante y los dos espadines de conexión.



bleado o interconexión de los diferentes módulos, que ya se encuentran completamente montados y finalmente pasar a efectuar el ajuste y puesta a punto del mismo.

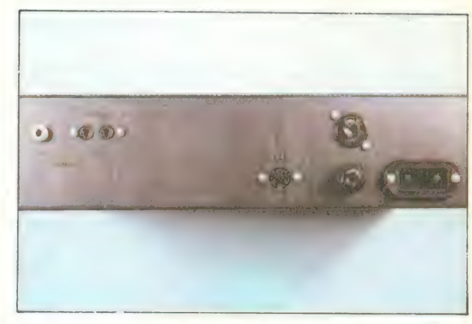
El mueble mencionado corresponde al CARKIT núm. 140R y contiene los siguientes elementos:

• R1: Resistencia 1/2 W 12 K • R2: Resistencia 1/2 W 15 K • R3: Resistencia 1/2 W 15 K • R4: Resistencia 1/2 W 15 K • R5: Resistencia 1/2 W 12 K • R6: Resistencia 1/2 W 15 K • R7: Resistencia 1/2 W 15 K • R8: Resistencia 1/2 W 270 K • R9: Resistencia 1/2 W 270 K • R10: Resistencia 1/2 W 2 K2 • R11: Resistencia 1/2 W 2 K2 • R12: Resistencia 1/2 W 100 Ω • C1: Condensador electrolítico 10 μF/16 V • C2: Condensador electrolítico 10 μF/16 V • C3: Condensador electrolítico 50 μF/6,4 V • C4:

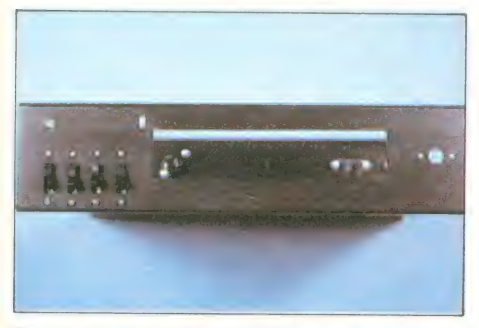




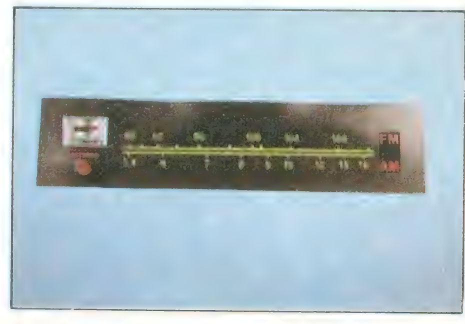
Dos detalles del montaje del conjunto de sintonía compuesto por el condensador variable destinado al Sintonizador de AM y el Potenciómetro para el de FM. Ambos deberán ser accionados por un eje de mando común, situado en el centro entre las dos ruedas dentadas.



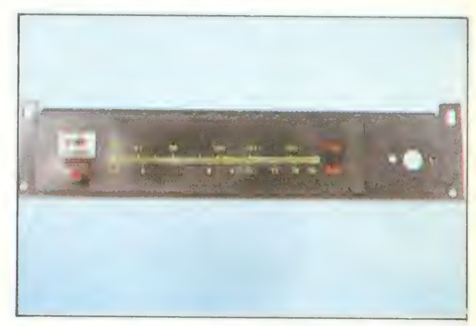
Montaje sobre la parte trasera del chasis de todos los elementos del circuito de entrada de red, así como las tomas de antena y el conector DIN de salida.



Sobre la cara delantera del chasis se instalarán los cuatro conmutadores de balancín desde la zona interna hacia el exterior. Deberán quedar bien centrados en sus ventanas.

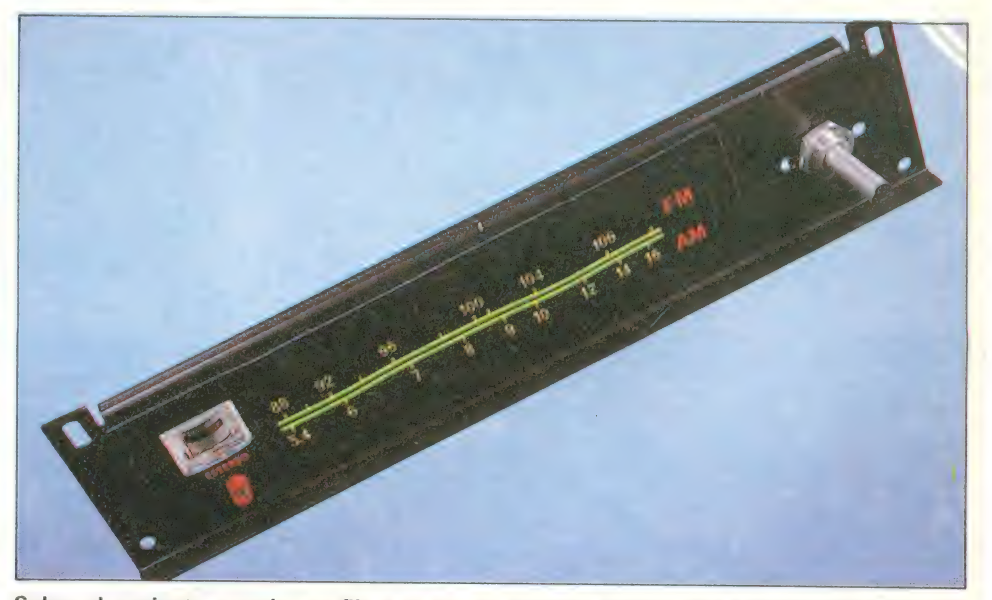


Sobre la carátula plástica del dial se insertará el diodo Led y el instrumento indicador de sintonía pegándolos a aquélla con pegamento para plástico.



Después se situará la carátula completa sobre su soporte metálico pegándola al mismo por el procedimiento anterior.

Condensador electrolítico 50 μF/6,4 V • C5: Condensador electrolítico 10 μF/16 V • C6: Condensador electrolítico 125 μF/16 V • C7: Condensador electrolítico 10 μF/16 V • C8: Condensador electrolítico 10 μF/16 V • Ca: Condensador placo de 47 K/630 V • TR1: Transistor BC148 • TR2: Transistor BC148 • D1: Diodo 1N914 • D2: Diodo 1N914 • D3: Diodo 1N914 • D4: Diodo 1N914 • Placa de circuito impreso 59a • Placa de circuito impreso 59b • 1 chasis mecanizado anodizado en negro • 1 frente mecanizado anodizado y serigrafiado • 1 soporte metálico carátula dial anodizado en negro • 1 mirilla plástico transparente • Mueble de madera • 1 carátula dial AM-FM • 1 indicador neón con embellecedor 220 V • 4 conmutadores balancín DAVI • Botón de mando aluminio grande • 1 aguja dial • 1 muelle dial • 1 eje sintonía • 4 pilotos rabillos 12 V • 1 instrumento de medida sintonía • 1 base red macho • 1 cambio de tensiones 2 × 1 • 1 portafusibles tapón rosca • 1 fusible de 250 mA corto • 1 base DIN 5 patas cerradas • 1 base antena simétrica tipo TV • 1 hembrilla aislada • 1 volante metálico dial • 1 escuadra metálica sujeción potenciómetro • 1 rueda dentada sintonía potenciómetro • 3 poleas metálicas dial • 3 tubitos metálicos sujeción poleas dial •



Sobre el conjunto anterior se fijará el eje de sintonía después de haberle cortado a una longitud aproximada de 23 milímetros.

10 separadores metálicos hexagonales de 10 milímetros • 3 separadores metálicos hexagonales de 5 milímetros • 1 regleta aislachasis de 5 terminales aislados y uno masa • 1 cable red con clavija • 1 clavija aérea hembra • 1 metro de cable de 8 conductores • 1 metro de cable blindado doble paralelo • 30 centímetros de cable amphenol paralelo de 300 Ω • 1 metro cuerda dial • 8 tornillos finos c/tuerca • 2 tornillos avellanados c/cruz con tuerca de 20 milímetros • 10 tornillos de 1/8 × 8 milímetros c/tuerca • 6 tornillos de 1/8 ×12 milímetros c/tuerca • 2 tornillos de 1/8 × 30 milímetros s/tuerca • 1 tornillo de 1/8 × 15 milímetros s/tuerca • 15 tornillos de 1/8 × 6 milímetros s/tuerca • 2 terminales de masa • 15 terminales de espadín • 4 tornillos roscachapa sujeción chasis • 4 patas de goma su-

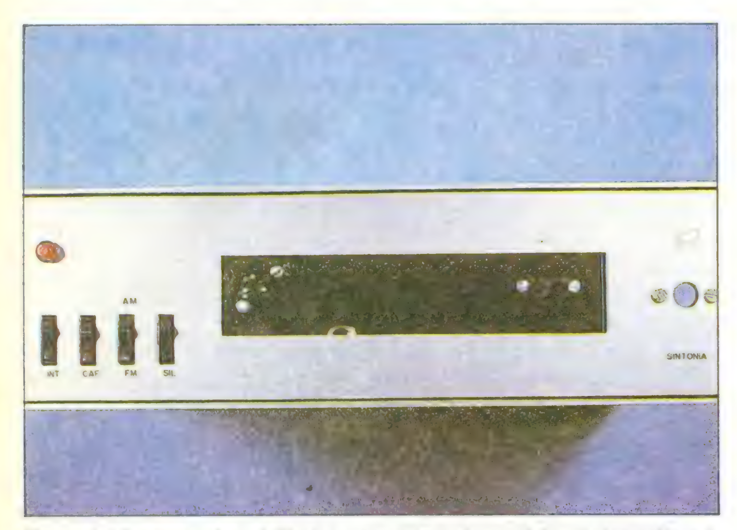


Después se montará sobre la cara frontal del chasis y en los taladros superiores situados en los extremos de la ventana rectangular dos tornillos de 1/8 × 30 con arandelas y un separador de 10 milímetros. En los taladros inferiores se montarán dos tornillos de 1/8 × 5 con separadores de 10 milímetros.

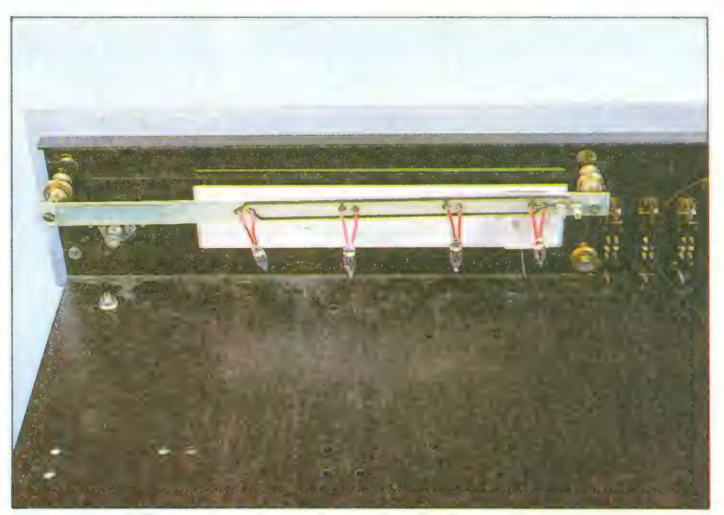
jeción caja • 24 arandelas planas metálicas pequeñas • 20 arandelas grower de 3,5 milímetros • 2 arandelas grower para potenciómetro • 0,5 metros de tubo aceitado macarrón de 1 milímetro.

Como puede observarse, el kit contiene también dos circuitos impresos destinados a conmutador electrónico de bandas (selección de AM o FM) y sujeción y conexionado de los cuatro pilotos para la iluminación del dial de sintonía.

El montaje, entonces comenzará con las dos placas de circuito impreso mencionadas situando en la primera de ellas las resistencias, condensadores, diodos y transistores según la secuencia ya conocida de anteriores circuitos, completándose con los terminales de espadín y los separadores metálicos. Sobre la placa señalada con la indicación 59b, de forma alar-

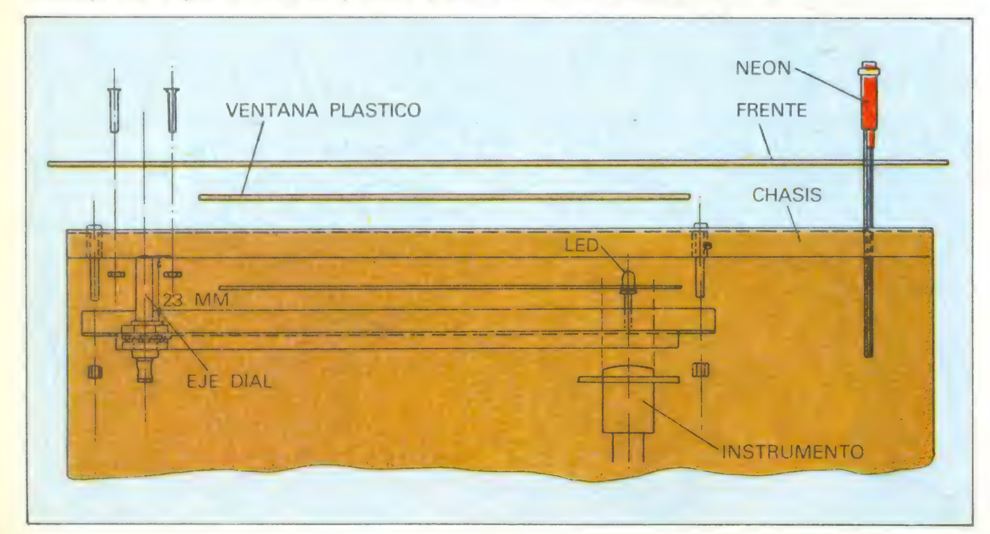


Después de pegar la mirilla transparente al panel frontal se situará a éste sobre el chasis fijando ambos con dos tornillos de 1/8 avellanados y con el piloto neón que penetrará en ambos con una cierta presión.

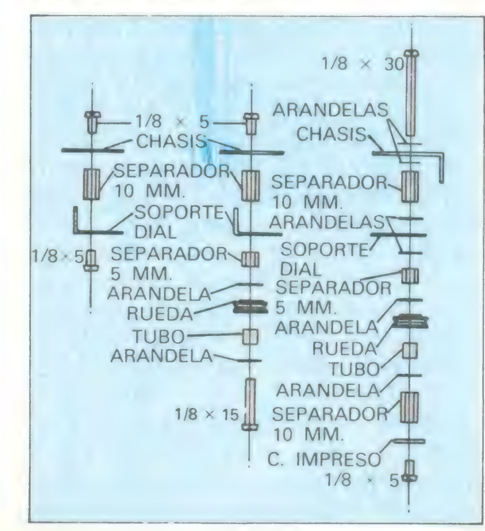


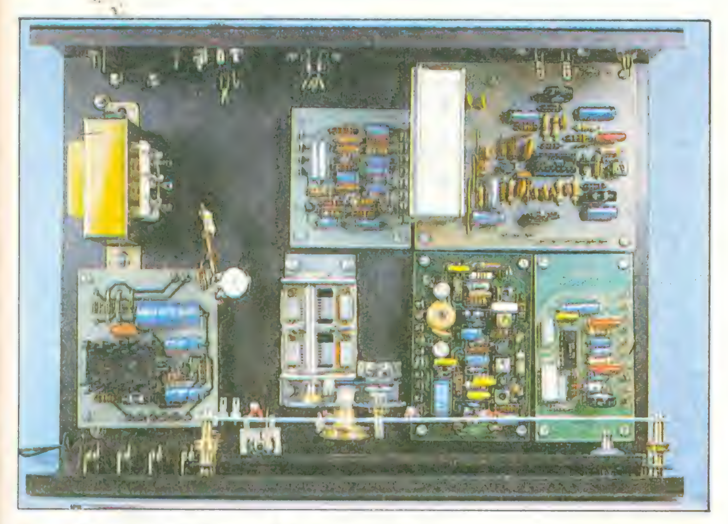
A continuación se sujetará al chasis el soporte del dial fijándole a los tornillos separadores ya preparados e instalando las poleas para la cuerda del dial. Además se montará la placa de los pilotos.

Montaje del soporte del dial y de la placa frontal del equipo sobre el chasis.

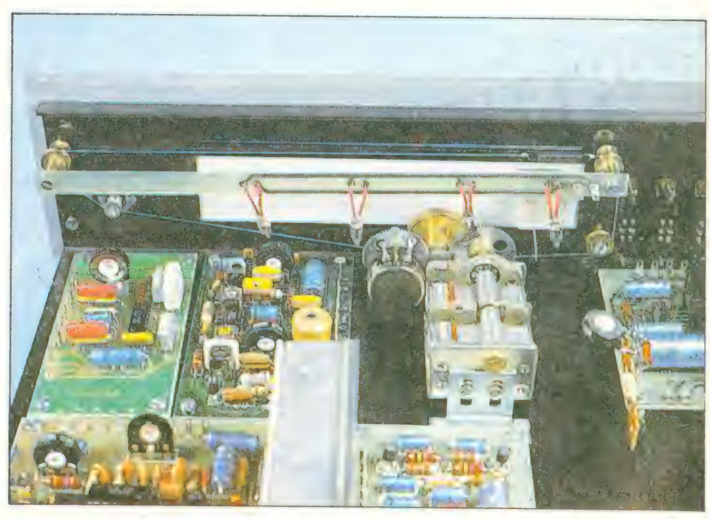


Detalle del montaje de los tornillos de fijación del soporte del dial y de las poleas para el hilo del mismo.

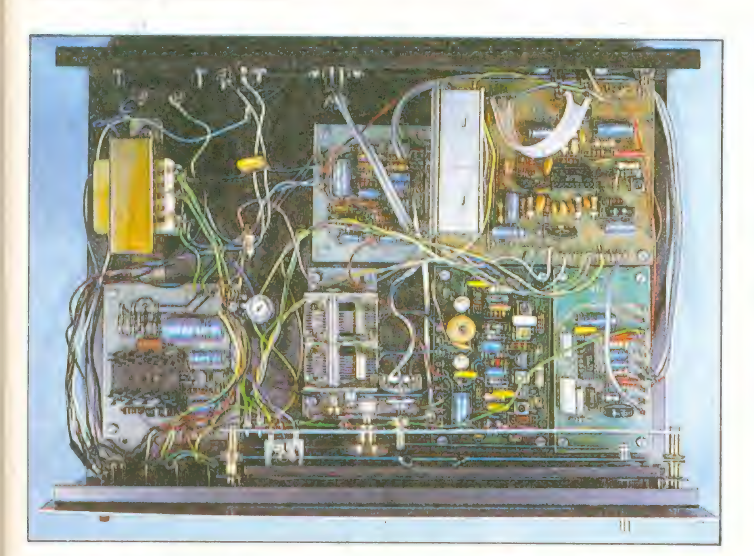




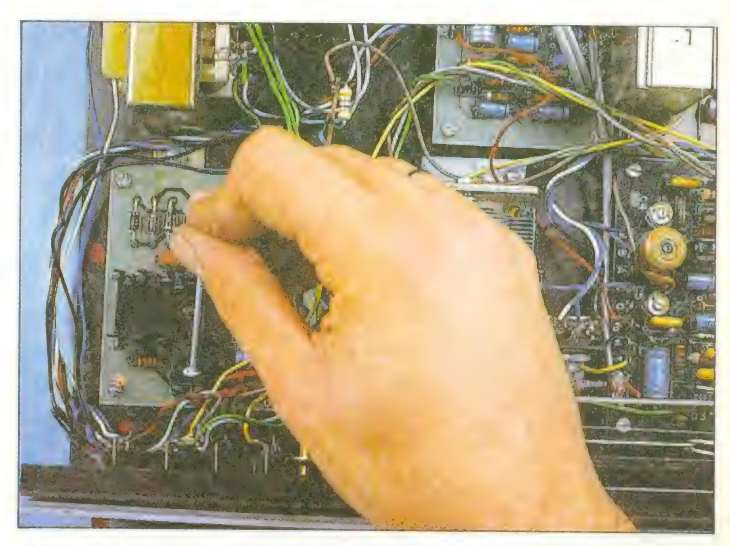
Montaje sobre el fondo del chasis del transformador de alimentación, conjunto completo de sintonía y todos los circuitos impresos previamente preparados.



Detalle de la fijación de la cuerda del dial sobre las poleas y ruedas preparadas para esta finalidad. Su forma de montaje se detalla en otra ilustración.



Aspecto del equipo totalmente cableado. Como puede verse se ha empleado cable apantallado en todas las conexiones que transmiten la señal entre los circuitos.



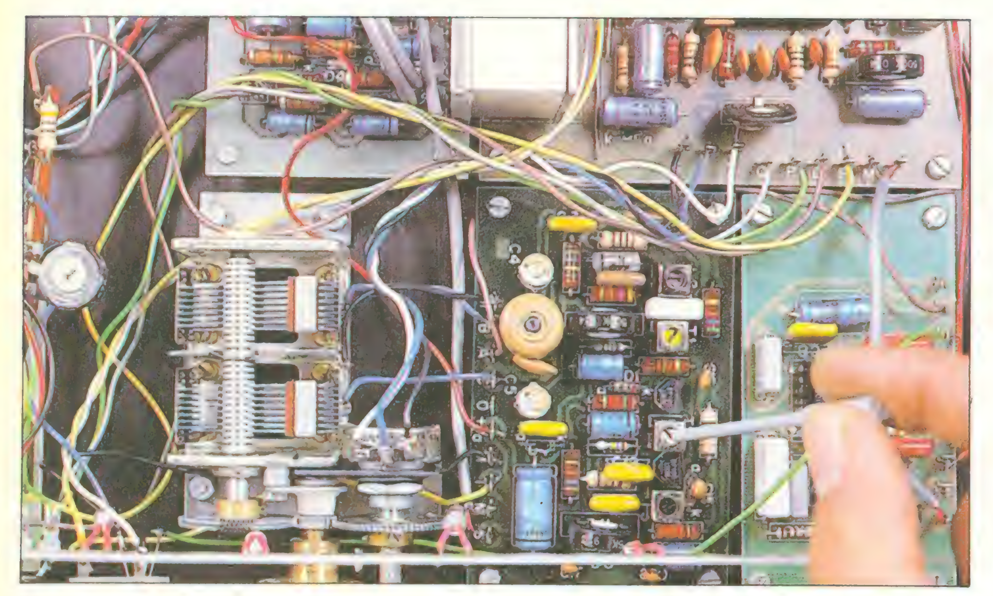
Antes de efectuar el ajuste de los módulos de sintonía es conveniente regular la tensión de la fuente de alimentación, mediante R5 hasta obtener 12 V.

gada se instalarán las cuatro lamparitas piloto, enfundando previamente sus rabillos con el tubito de macarrón aceitado que se incluye en el kit, dejando una longitud de 20 milímetros aproximadamente, montando después los dos espadines de conexión. A continuación se efectuará el montaje mecánico del condensador variable con el potenciómetro sintonizador de FM para formar el conjunto completo de sintonía. Para ello se prescindirá de la escuadra delantera del condensador, montando en su lugar la especial que contiene el kit. Sobre ella y en el orificio de la derecha se fijará el potenciómetro empleando su tuerca y arandela grower, instalando sobre su eje la rueda dentada correspondiente de forma que engrane con el piñón intermedio entre ésta y la que acciona el condensador. Antes de apretar los tornillos que fijan la primera rueda mencionada sobre el potenciómetro es necesario ajustar el recorrido del cursor de éste adaptándole al del condensador para que ambos coincidan, ya que deberán desplazarse simultáneamente; para ello se colocarán primeramente las placas móviles del condensador a la mitad de su recorrido aproximadamente y se moverá el eje del potenciómetro hasta que también se encuentre a la mitad del recorrido, lo que puede comprobarse con un polímetro en la escala de ohmios, midiendo la resistencia existente entre el punto central y los dos extremos, hasta que sean iguales. En este momento se apretarán los tornillos de la rueda delantera, teniendo la precaución de que el muelle tensor de las dos partes de esta rueda no estorbe su recorrido.

Este conjunto, una vez montado, debe de moverse con suavidad para que la cuerda del dial no pueda patinar al accionarle, lo que puede ajustarse mediante la holgura existente en los taladros de la escuadra especial. Seguidamente se procederá al montaje de la caja comenzando por instalar sobre la parte trasera del chasis el conector base macho de red, selector de tensiones, portafusibles, conector DIN de cinco patas, toma de antena simétrica para FM y hembrilla especial para toma de antena de AM. Después se procederá a montar la cara delantera del chasis instalando los siguientes elementos:

— Conmutadores de balancín: Son cuatro en total. Se utilizarán dos tornillos finos con tuerca por cada uno de ellos. Deben de quedar bien centrados en sus ventanas correspondientes, instalándose por la parte interna del chasis.

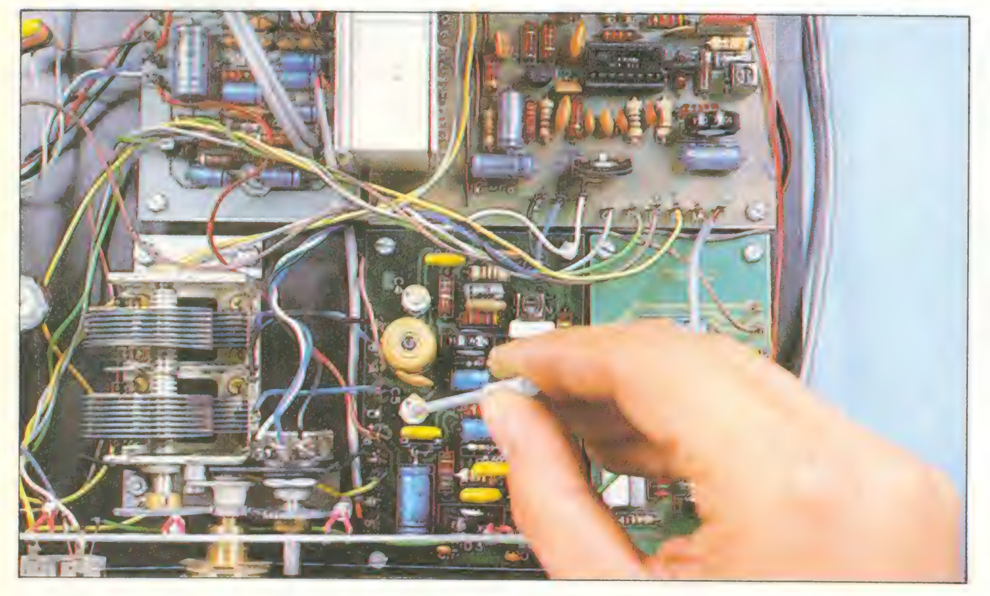
— Carátula del dial: Se comenzará

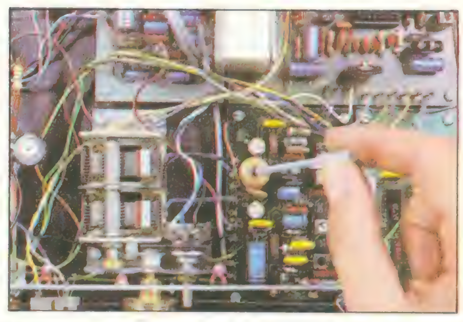


Ajuste de los transformadores de F1 del Sintonizador de AM que corresponde a la primera fase del proceso.

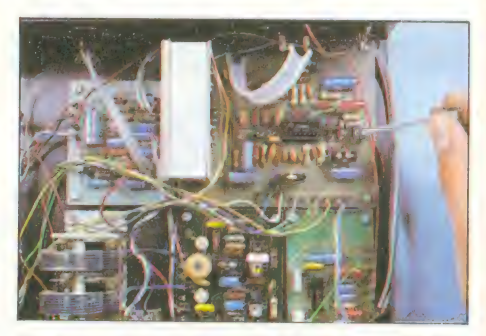


El ajuste del condensador trimer C5 se efectuará en la zona alta de la banda de AM procurando optimizar la sintonía de una emisora cuya frecuencia sea conocida.



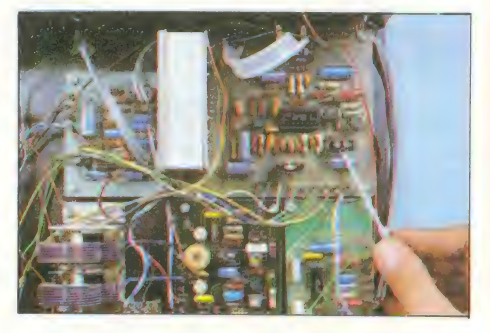


La bobina de antena L1 se procurará ajustar para conseguir una buena sensibilidad con una emisión de la zona baja de la banda de AM.



Para comenzar el ajuste del circuito de Frecuencia Intermedia de FM se retocará L1 hasta obtener un fuerte soplido. Después se retocará de nuevo sintonizando una emisora que se reciba con intensidad para conseguir el nivel más alto posible.

El ajuste correcto del silenciador se realizará mediante R19, después de haber actuado el conmutador correspondiente, hasta reducir el soplido sin llegar a eliminarle.



por colocar sobre esta carátula, de material plástico flexible, el diodo Led y el instrumento indicador de sintonía insertando ambos por la cara blanca con una ligera presión. Se fijarán a la misma mediante un poco de pegamento especial para plástico. Después se situará la carátula completa sobre su soporte metálico anodizado en negro, pegándola al mismo con el mismo procedimiento anterior, centrándola sobre la ventana de dicho soporte para que no quede cubierta ninguna indicación de la misma.

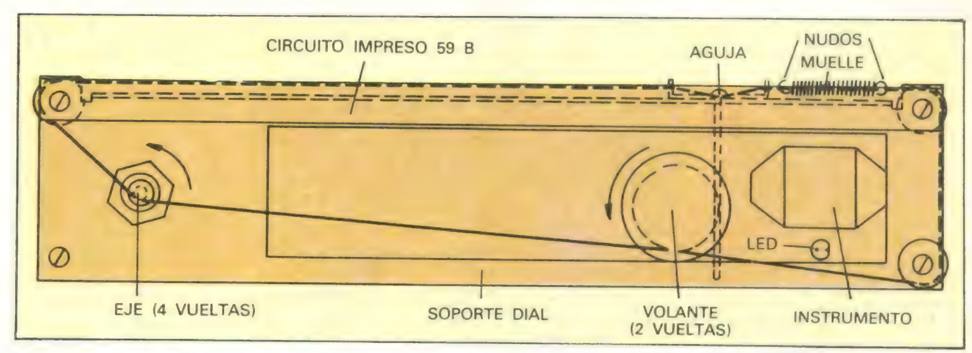
— Eje de sintonía: Previamente se cortará su eje para que desde su extremo y el final de la parte roscada se obtenga una longitud de 23 milímetros. Después se colocará en el soporte del dial empleando la tuerca y arandela grower que posee.

Antes de instalar los elementos siguientes y para poder fijar más tarde la carátula soporte del dial es necesario montar sobre la cara frontal del chasis y en los taladros superiores que se encuentran en los extremos de la ventana rectangular, dos tornillos de 1/8 × 30 con arandelas, situándolas a ambos lados del chasis, roscando sobre ellos un separador de 10 milímetros e introduciendo a continuación una tercera arandela. En los taladros de la zona inferior de la ventana situados bajo los anteriores se montarán dos tornillos de 1/8 × 5, roscando por la parte interna sendos separadores de 10 milímetros.

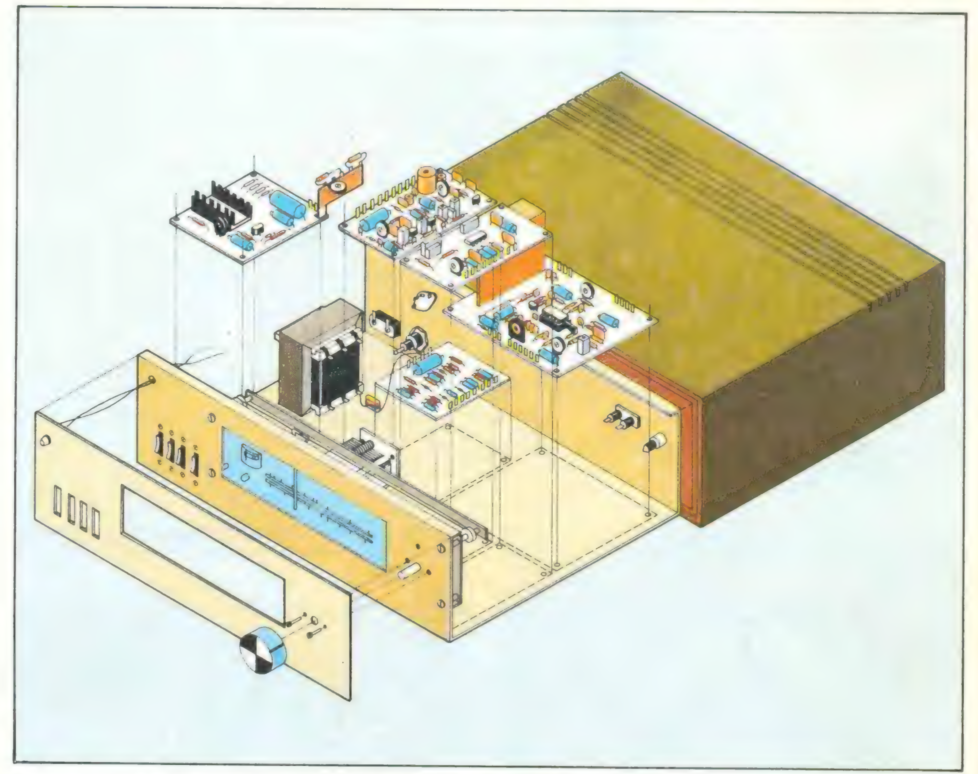
— Panel frontal serigrafiado: Previamente se pegará la mirilla rectangular de plástico transparente a la cara interna del panel, empleando el mismo pegamento anterior. Después se fijará este conjunto al chasis con dos tornillos de 1/8 avellanados sobre los taladros situados a ambos lados del orificio del mando de sintonía. En el otro extremo se montará el piloto neón mediante una ligera presión, el cual completa la fijación del panel.

— Conjunto del soporte del dial: Este

conjunto ya completo se fijará al chasis en la forma mostrada por los dibujos adjuntos, sobre los tornillos largos y separadores previamente preparados para esta finalidad; este montaje se completa con la instalación del circuito impreso 59b, que se fijará con dos tornillos de 1/8 × 5.
A continuación se montarán sobre el fondo del chasis el transformador de alimentación, los circuitos impresos totalmente montados y el conjunto de condensador y potenciómetro de sintonía, situando previamente sobre su eje común de accionamiento el volante metálico, asegurándole con dos tornillos de presión. En el circuito de la fuente de alimentación puede optarse por instalar una regleta para montar sobre la misma los tres componentes repartidos entre las regletas más cortas que se encuentran sobre los módulos de Frecuencia Intermedia y Decodificador Estereofónico, eliminándolas de estos circuitos. A continuación se instalará la cuerda del dial, atando uno de sus extremos al muelle y siguiendo las indicaciones del dibujo adjunto. Atar el extremo libre en el otro lado del muelle de forma que la cuerda quede tensa sin que el muelle se deforme.



Esquema para el montaje del hilo de accionamiento del conjunto de sintonía y del dial.

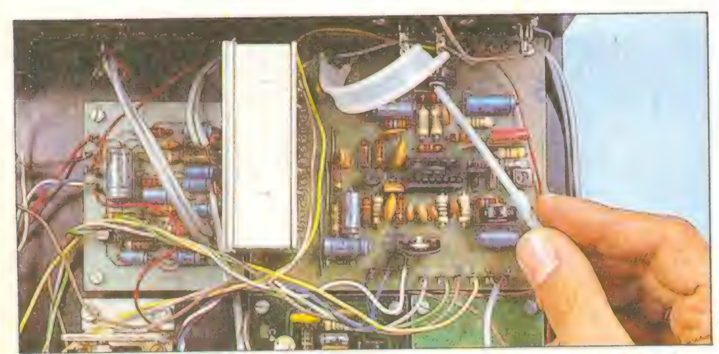

Montaje de los diversos elementos sobre la base del chasis (modelo A).

Conexionado

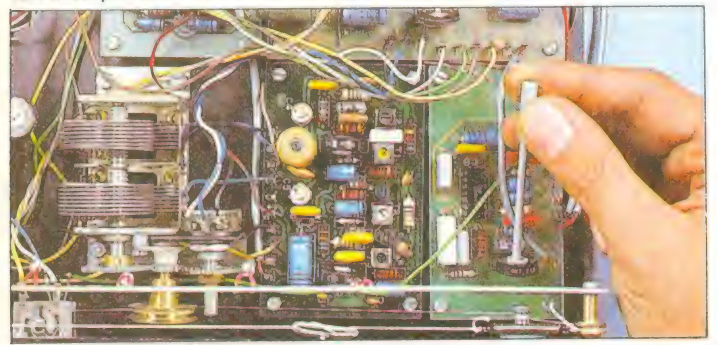
Las siguientes operaciones están destinadas al cableado entre los diversos elementos, debiendo utilizarse cable apantallado para las conexiones entre el circuito de FI y Decodificador, también entre éste y el conmutador electrónico, así como desde este último y las salidas del sintonizador de AM y el conector DIN de salida de equipo. El cable paralelo de antena se utilizará para enlazar el conector base de ésta con la entrada del circuito de FI. En este momento podrá instalarse la aguja indicadora de sintonía sobre la cuerda del dial de forma que su recorrido coincida con el margen completo de actuación del condensador variable.

Ajuste

Antes de efectuar el ajuste del equipo es conveniente medir la tensión de salida de la fuente y ajustarla si fuera preciso, desoldando previamente todos los cables que van en los espadines con la indicación + Va de este circuito y volviéndoles a conectar después del ajuste. Este se realizará midiendo con un polímetro la tensión y retocando R5 hasta conseguir una lectura de 12 V. Para el ajuste del equipo se conectará previamente éste a un amplificador dotado de altavoces de salida, situando el conmutador de bandas en AM, poniéndole en marcha seguidamente y sintonizando una emisora que se escuche con debilidad, se retocarán los núcleos de T3, T2 y T1, en este orden, hasta obtener el máximo nivel. Más tarde se retocará R10 para conseguir la mejor recepción sin que se produzca autooscilación. Después se buscará una emisora cuya frecuencia sea conocida con exactitud, comprendida entre 535 y 650 KHz, procurando que el condensador variable quede casi cerrado y actuando sobre L2 hasta conseguirlo. Acto seguido se buscará una segunda emisora cuya frecuencia esté entre 1.500 y 1.600 KHz, abriendo casi del todo el condensador variable y retocando C5 hasta obtener una buena sintonía. Para el ajuste de L1 se localizará de nuevo la primera emisora y se actuará sobre su núcleo hasta que se consiga la máxima sensibilidad, volviendo otra vez a la segunda emisora anterior para así retocar C4 hasta obtener el máximo nivel. Es conveniente repetir todos estos ajustes varias veces hasta optimizar el funcionamiento. Después se pasará el conmutador de bandas a FM y se apagará el equipo. Para el ajuste del circuito FI se situarán previamente los cursores de R3, R14, R19 y Ra en la mitad de su recorrido, así como el potenciómetro de sintonía y se situará el conmutador SIL en la posición de apagado. El conmutador de CAF se situará en la posición «Sin CAF».
Al encender el equipo se debe escuchar un soplido que se acentuará hasta el máximo posible, retocando el núcleo de L1.
Después de conectar una antena a la



Para ajustar el desplazamiento de la aguja del instrumento indicador de sintonía se retocará R14, después de haber buscado la emisora de mayor intensidad, hasta que el recorrido sea de dos terceras partes del total.



Ajuste del Decodificador Estereofónico. Para ello se buscará una emisora que emita en estereofonía y se retocará R3 hasta que quede centrada entre los dos puntos de apagado del diodo Led.

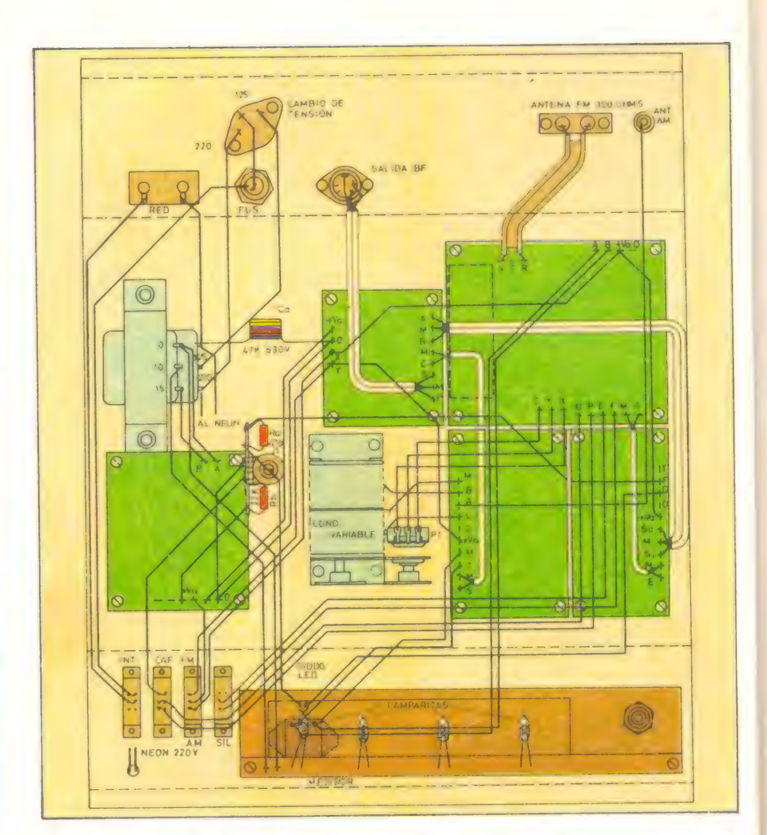
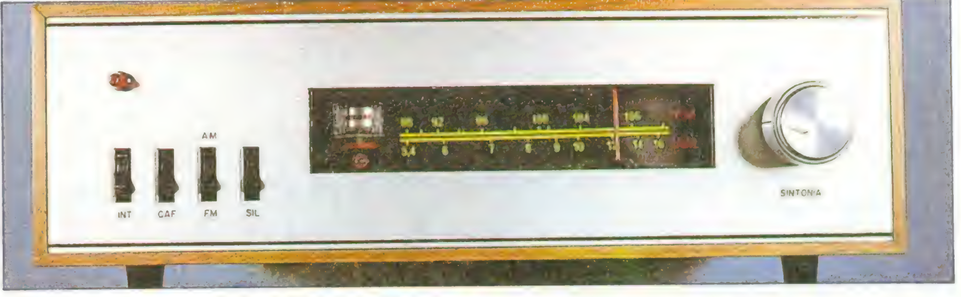


Diagrama de la interconexión completa del equipo.



Después de completar las operaciones de ajuste se introducirá el equipo en la caja de madera, fijándola al mismo, mediante los cuatro tornillos de montaje de las patas de plástico.



Aspecto final del equipo. Sintonizador totalmente terminado, después de haber fijado al eje de sintonía el botón de mando correspondiente.

entrada correspondiente, se sintonizará la emisora que se reciba con mayor intensidad de forma que la aguja del instrumento señale la máxima desviación, retocando en este momento el núcleo de L1, de nuevo, para conseguir la mejor calidad posible de sonido. Desconectar ahora la antena y medir con un polímetro la tensión de la patilla 7 de CIN1 con respecto a masa, pasando después a medir la del punto Q e igualando ambas con el ajuste de Ra.

Para ajustar el circuito silenciador se pasará el conmutador SIL a la posición de conectado, retocando seguidamente el cursor de R19 hasta disminuir el soplido, sin que llegue a desaparecer por completo.

Por último, se sintonizará una emisora que se reciba con mucha intensidad y se ajustará R14 hasta que la aguja del instrumento indicador de sintonía alcance las dos terceras partes de su recorrido total.

Para ajustar y poner a punto el Decodificador Estereofónico se sintonizará una emisora que funcione en estereofonía y que se reciba con buena potencia y claridad y se retocará el cursor de R3 en sentido horario hasta el final de su recorrido. Después, y actuando en sentido contrario, se moverá otra vez hasta que el Led indicador se ilumine, realizando una marca con un lápiz o rotulador en el cursor. A continuación se volverá a girar dicho cursor en el mismo sentido hasta el tope y de nuevo se actuará, ahora en sentido horario, hasta que el Led se ilumine otra vez, efectuando una nueva marca similar a la anterior. El ajuste correcto corresponde a una posición del cursor centrada entre las dos señales o marcas. Después de completar el ajuste se introducirá el equipo en la caja de madera, fijándola al mismo mediante los cuatro tornillos roscachapa destinados a la fijación de las patas de plástico, quedando listo para funcionar.

Esquema eléctrico de la Cabeza Sintonizadora de FM.



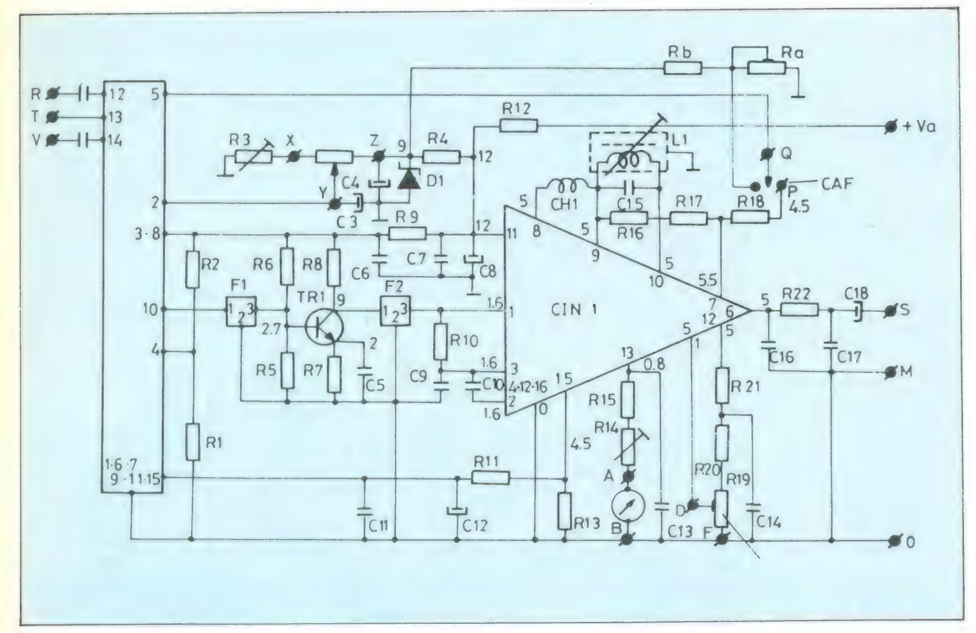
Detalle de la primera etapa de sintonía de FM contenida en la Cabeza Sintonizadora.



Oscilador local y mezclador para la obtención de la Frecuencia Intermedia. Ambos se encuentran en la Cabeza Sintonizadora.

Funcionamiento

El equipo consta de una serie de circuitos de tipo modular teniendo asignado cada uno de ellos una función específica, facilitando así tanto el montaje como la correcta interpretación de su forma de trabajo.
Ya en un primer análisis pueden encontrarse dos partes claramente diferenciadas, una destinada a la sintonía y posterior tratamiento de las señales de Frecuencia Modulada y que comprende la Cabeza Sintonizadora, Frecuencia Intermedia de FM y Decodificador de Estereofonía, y otra cuya función es la recepción y tratamiento completo de la Amplitud Modulada



Esquema eléctrico del circuito de Frecuencia Intermedia de FM.

(también conocida como Onda Media). Además se encuentran otros dos módulos comunes a ambas que corresponden al circuito de Conmutación Electrónica de bandas y a la Fuente de Alimentación.

Para la descripción de cada circuito se va a emplear el mismo orden que el ya indicado, comenzando, por tanto, por la Cabeza Sintonizadora.

Cabeza sintonizadora

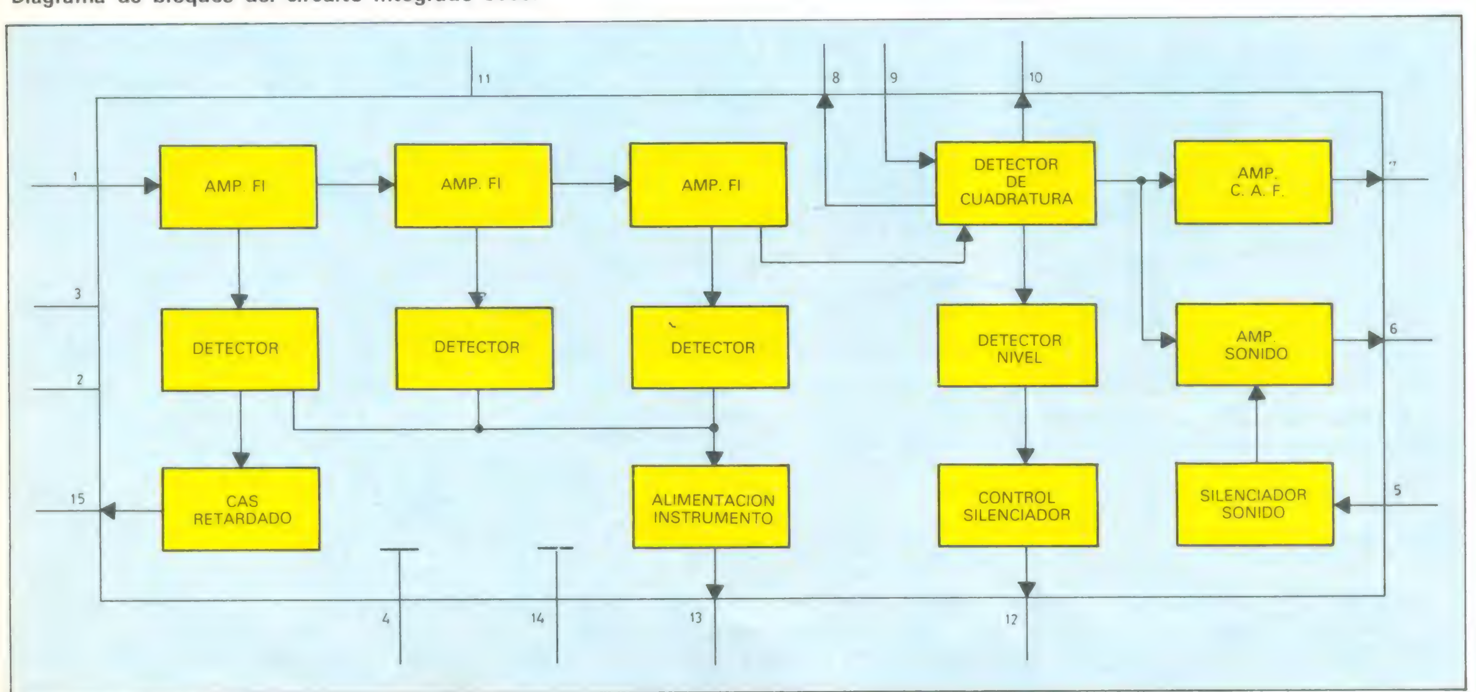
Este circuito, cuyo aspecto exterior es el de una caja metálica cerrada, contiene las etapas previas de amplificación de la señal de FM así como la conversión heterodina que da lugar a la Frecuencia Intermedia (FI).

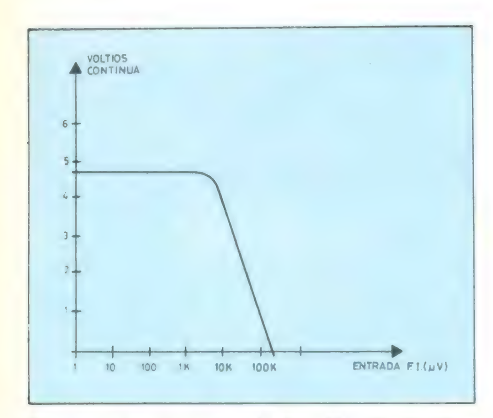
La entrada de antena se introduce al circuito por los puntos de conexión numerados con 12, 13 y 14, con los que pueden atenderse las dos posibilidades de impedancia de antena normalizadas, que corresponden a línea simétrica de 300 Ω y línea asimétrica o coaxial de 75 Ω. En el primer caso el enlace se efectúa sobre los puntos 12 y 14 y en el segundo sobre los 12 y 13 o bien los 13 y 14. En cualquier caso las señales son recibidas por un transformador adaptador de impedancias, conocido con el nombre de BALUN (del inglés *Bal*anced-*Un*balanced Transformer), el cual efectúa la necesaria adaptación y las entrega al primer circuito sintonizado constituido por el transformador T1, los condensadores C1 y C2 y el diodo varicap D1. La sintonía se obtiene mediante la variación de la capacidad interna de D1, lo que se logra al aplicarle la tensión continua adecuada que le llega de la entrada 2, procedente de un potenciómetro exterior dispuesto para esta finalidad. La función del condensador variable C1 será la de permitir un preajuste para conseguir que el recorrido total de la sintonía coincida con la de la banda completa de FM. La señal obtenida se envía al primer paso amplificador mediante C3 y L1, alcanzando el emisor del transistor T1 que se encuentra montado en la configuración de base común y cuya ganancia puede ser variada mediante la tensión continua de polarización de la base, que le llega a través de R3 desde el circuito del *control automático de sensibilidad* por la entrada 15.

La señal amplificada se toma del colector y se envía mediante C7 a un segundo circuito sintonizador, constituido por los condensadores C8, C9 y C12, la bobina L3 y el diodo varicap D2, el cual realiza la misma función que D1. La tensión continua de polarización del colector de T1 llega a través de R5 y la bobina L2 que impide el paso de la radiofrecuencia hacia la fuente.

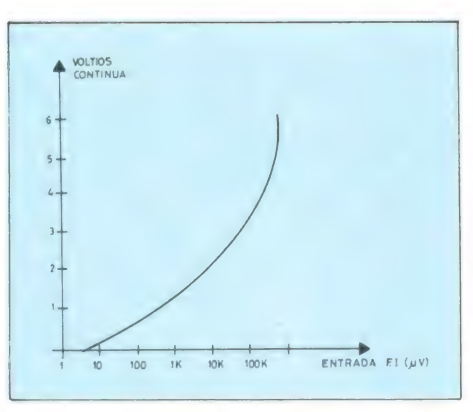
La siguiente etapa es la mezcladora de FI y está formada por el transistor

Diagrama de bloques del circuito integrado 3089.

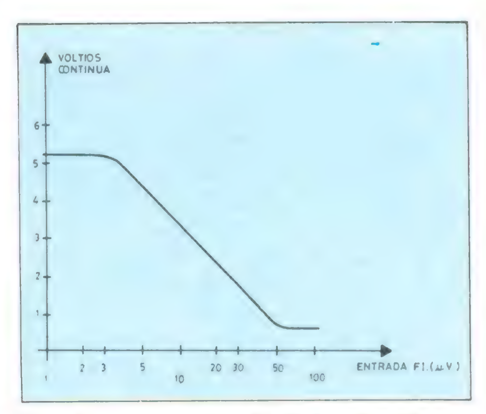




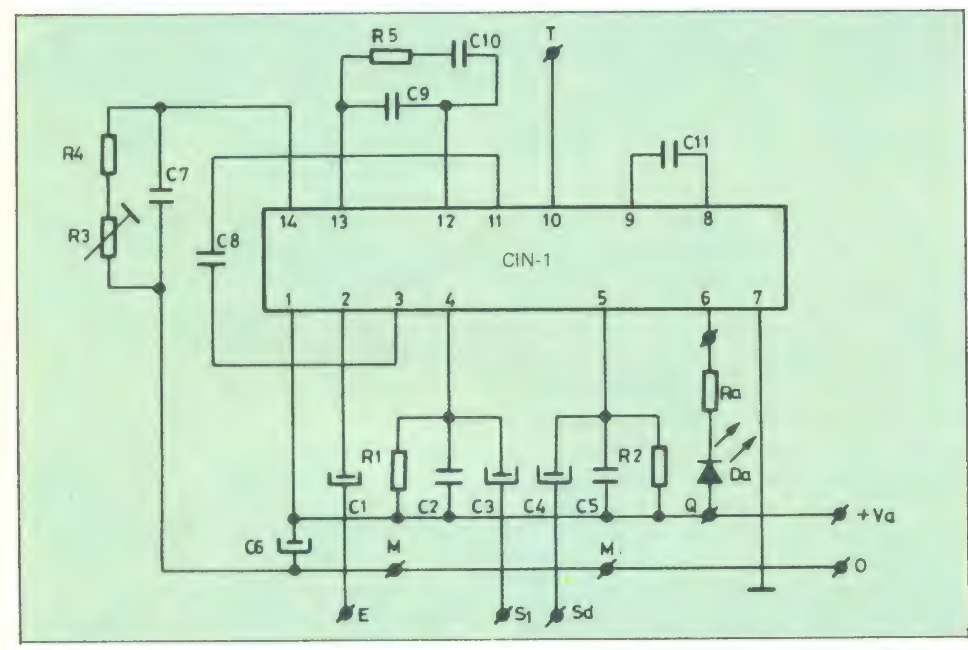
Curva que representa la tensión de regulación del CAS en función del nivel de señal de FI.



Curva que muestra la tensión de excitación del instrumento indicador de sintonía en función del nivel de señal de FI.

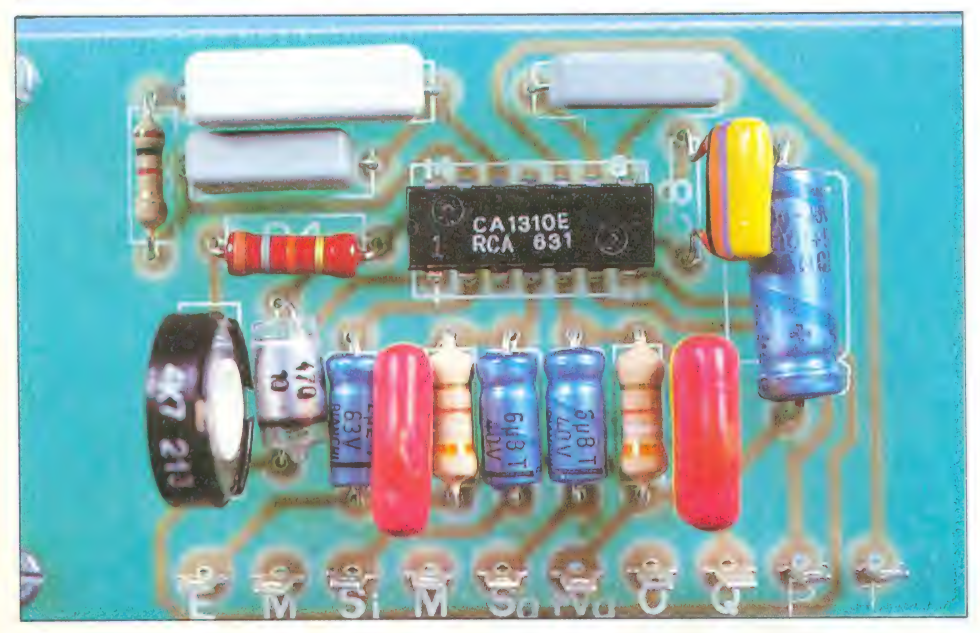


Curva representativa de la tensión de control del silenciador para diferentes niveles de señal de FI.



Esquema eléctrico del Decodificador Estereofónico.

Detalle del circuito integrado 1310, que junto con sus componentes asociados efectúa el proceso de decodificación.



mediante un interruptor de control situado en el frontal del aparato que cortocircuita los puntos D y F.

La tensión de CAF se extrae de la patilla 7 y se envía a través de R18 al conmutador de control correspondiente, con el cual se puede elegir bien este voltaje o el producido por el divisor de tensión formado por las resistencias Ra y Rb; de esta manera, la tensión que se envía a la entrada 5 de la Cabeza Sintonizadora, podrá ser fija o proporcional al grado de sintonía conseguido, completando con esta última opción el circuito completo del Control Automático de Frecuencia.

La señal de baja frecuencia entregada por el demodulador pasa por una etapa preamplificadora y es finalmente entregada al exterior por la patilla 6, de donde se envía a la salida del módulo mediante C18 y R22. El valor de esta resistencia dependerá de si el equipo incluye o no un Decodificador Estereofónico, ya que los niveles de señal y la ecualización dependen de estas dos alternativas.

La tensión de alimentación se recibe en el módulo por el terminal + Va pasando por R12 hasta la patilla 11 del circuito integrado, estando conectados a ésta los condensadores de filtro C7 y C8. Desde este punto se toma para la Cabeza Sintonizadora a través de otro filtro formado por R9 y C6, y para el circuito de estabilización y gobierno de los diodos varicap. Este está constituido por R4, C4 y el diodo zener D1, enviándose desde aquí al potenciómetro de sintonía. El recorrido de este último puede ser ajustado con R3 para acomodarle a la anchura de banda normalizada, asignada a las emisiones de FM.

Decodificador Estereofónico

La función del circuito Decodificador Estereofónico consiste en recibir la

ESTABILIZADOR DE TENSION
DETECTOR FASE
AMP.
OSCILADOR 76 KHz (VCO)
1/2
1/2
CONMUTADOR ELECTRONICO
DETECTOR FASE
CIRCUITO DE DISPARO
1/2
AMP. AUDIO
DECODIFICADOR

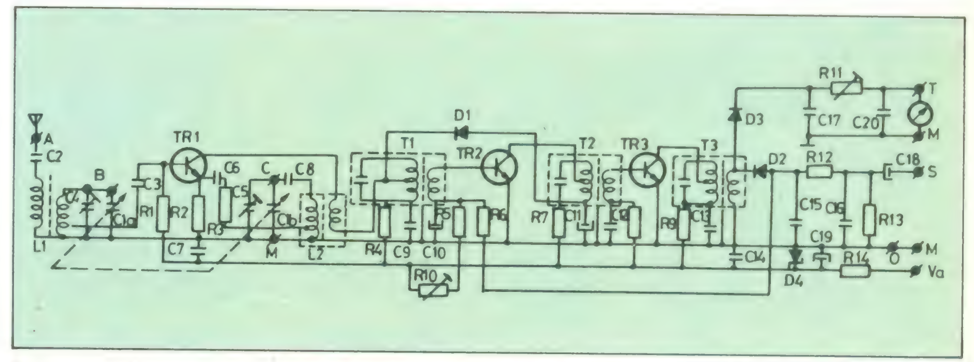
Diagrama de bloques del circuito integrado 1310.

señal demodulada y ya de baja frecuencia, desde el módulo de Frecuencia Intermedia, detectando si la emisión es monofónica o estereofónica y en este caso obtener las señales correspondientes a los canales derecho e izquierdo, produciendo la señalización óptica adecuada.

Todas las misiones asignadas a este módulo son realizadas por el circuito integrado CIN1 del tipo 1310 que contiene en su interior la totalidad de etapas que se requieren. El resto de componentes son auxiliares de las etapas citadas, complementando de esta forma el funcionamiento del circuito integrado.

La señal recibida por el circuito, que proviene del de Frecuencia Intermedia, entra al mismo por los puntos E y M y llega a la patilla 2 del integrado aplicándose a un amplificador interno que eleva el nivel de la señal y la entrega al exterior por el terminal 3, desde donde alcanza al 11, a través de C8. De aquí la señal llega a dos circuitos detectores. El primero de ellos está destinado a obtener una señal de frecuencia igual a la piloto (19 KHz), así como otra de frecuencia doble, de forma que la primera se encuentre en fase con la recibida de la emisora, enviándola al exterior por la patilla 10 a efectos de ajuste del módulo.

La señal de 19 KHz se obtiene mediante un servocircuito en el que se



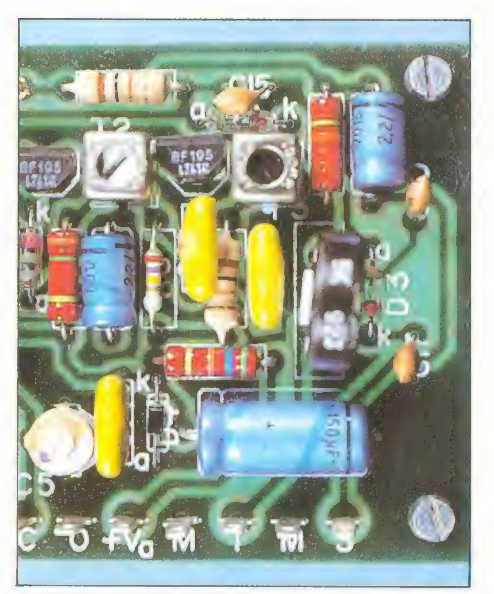
Esquema eléctrico del Sintonizador de Onda Media.

encuentra un oscilador controlado por tensión que genera una frecuencia de 76 KHz (19 KHz × 4), la cual se aplica a un primer divisor por dos para obtener 38 KHz y a otro segundo divisor similar de donde ya se dispondrán de los 19 KHz necesarios. Estos se devuelven al primer paso para cerrar el bucle y la diferencia entre esta señal y la de entrada es amplificada y se emplea para corregir la frecuencia del oscilador mencionado. Este circuito requiere un filtro exterior conectado entre las patillas 12 y 13 formado por R5 y los condensadores C9 y C10. Además se dispone de una posibilidad de ajustar el oscilador de 76 KHz y centrar su frecuencia mediante la red formada por las resistencias R3 (fija) y R4 (variable) y el condensador C7.

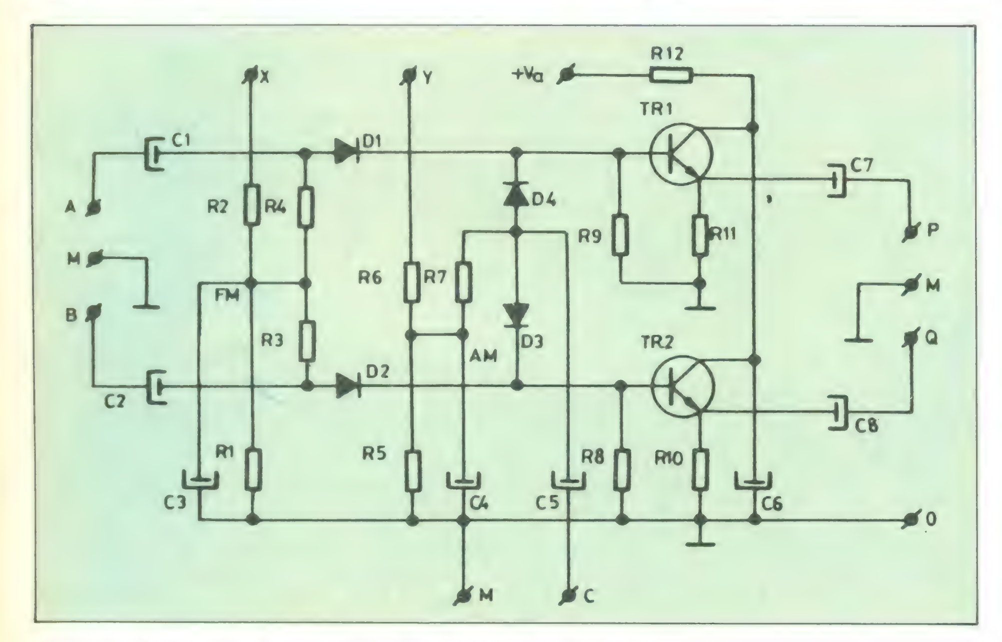
El segundo circuito detector recibe además de la señal exterior, otra a una frecuencia de 19 KHz obtenida de dividir por dos en un tercer circuito divisor la de 38 KHz, mencionada anteriormente, generando dos señales de tipo digital; una de ellas es un nivel 0 o masa, destinado a encender el Led indicador y la otra que actúa sobre un interruptor electrónico encargado de enviar la señal de 38 KHz al circuito decodificador que separa los canales derecho e izquierdo. Así, si la señal recibida es monofónica no existirá señal piloto exterior, aunque sí interior, pero el interruptor electrónico citado se abrirá impidiendo que alcance el decodificador, por lo que las dos señales de salida serán iguales. En el caso de que sea estereofónica, la señal re-



Detalle de la primera etapa del Sintonizador de AM en la que se observa el oscilador local.



Etapas finales de FI pertenecientes al Sintonizador de AM. Pueden verse también los dos diodos detectores.



Esquema eléctrico del Conmutador electrónico de bandas.

cibida será de tipo *Multiplex*, demodulándose en AM al recibir la frecuencia de 38 KHz y decodificándose al combinarse la información de I + D e I − D (I = canal izquierdo, D = canal derecho).

Las señales de salida de ambos canales se obtienen en las patillas 4 y 5 del integrado, pasando a dos filtros de énfasis formados por R1, C2 y R2 y C5 respectivamente, saliendo del módulo por los puntos Si y Sd.

Sintonizador de Onda Media

El circuito Sintonizador de Onda Media responde a un diseño clásico. Así, la señal captada por la antena se recibe por el punto A y atravesando el condensador C2 alcanza al primario de la bobina de antena L1. El secundario forma parte de un circuito sintonizado en la banda de frecuencias de AM asociado con C4 de ajuste y C1a, que corresponde a una de las secciones del condensador variable de aire. Este secundario posee una toma intermedia de donde se extrae la señal para enviarla mediante C3 a la base del primer transistor TR1. Esta primera etapa responde al diseño de un oscilador del tipo Hartley, realimentándose de colector a emisor a través de la bobina osciladora L2 sintonizada con C5, destinado a ajuste y C1b constituido por la segunda sección del condensador externo. La conexión de emisor está realizada mediante C6 y R3 a una toma intermedia del primario de L2. La frecuencia de oscilación de este oscilador local será siempre superior en 455 KHz a la recibida exteriormente, por tanto, al mezclarse en TR1 con ella genera la Frecuencia Intermedia, obtenida como diferencia entre ambas.

Del secundario de L2 se aplica la FI al primer transformador T1, sintonizado a esta frecuencia, enviándose a través de su primario la tensión de polarización del colector de TR1, tomada del positivo mediante R4. El secundario entrega la señal a la primera etapa amplificadora de FI formada por TR2, el cual tiene su ganancia controlada por la tensión del Control Automático de Sensibilidad (CAS) que recibe por la resistencia R6. Además, se puede realizar un segundo control de ganancia con la resistencia ajustable R10 en serie con R5 que regulan la polarización de base de TR2.

La señal de salida se aplica desde el colector al segundo transformador de FI T2, el cual recibe la tensión continua de polarización para TR2 mediante R7. Del secundario de T2 se aplica la señal al transistor TR3, que constituye el último paso amplificador. Su salida se lleva al primario del tercer transformador de Frecuencia Intermedia T3, mediante el cual y de la misma manera que en los pasos anteriores, se transmite la polarización continua al colector, a través de R9. Del secundario se obtiene la señal con un nivel de FI lo suficientemente elevado como para ser aplicada al demodulador o detector, constituido por el diodo D2, el cual separa la señal de baja frecuencia, efectuándose un filtrado de los componentes residuales de FI mediante el filtro formado por los condensadores C15 y C16 y la resistencia R12. La salida final se obtiene entre los puntos S y M.

También se obtiene del bobinado secundario de T3 la misma señal de FI para ser detectada por D3 con objeto de obtener una tensión capaz de accionar el instrumento de medida indicador de nivel y, por tanto, del punto óptimo de sintonía. Esta tensión es filtrada por C17 y C20 junto con la resistencia ajustable R11, que al mismo tiempo se emplea para regular el máximo desplazamiento de la aguja.

La tensión de alimentación se aplica al circuito entre los puntos + Va y M, estabilizándose a un nivel de 6 V mediante el diodo zener D4 y la resistencia R14.

Conmutador Electrónico de bandas

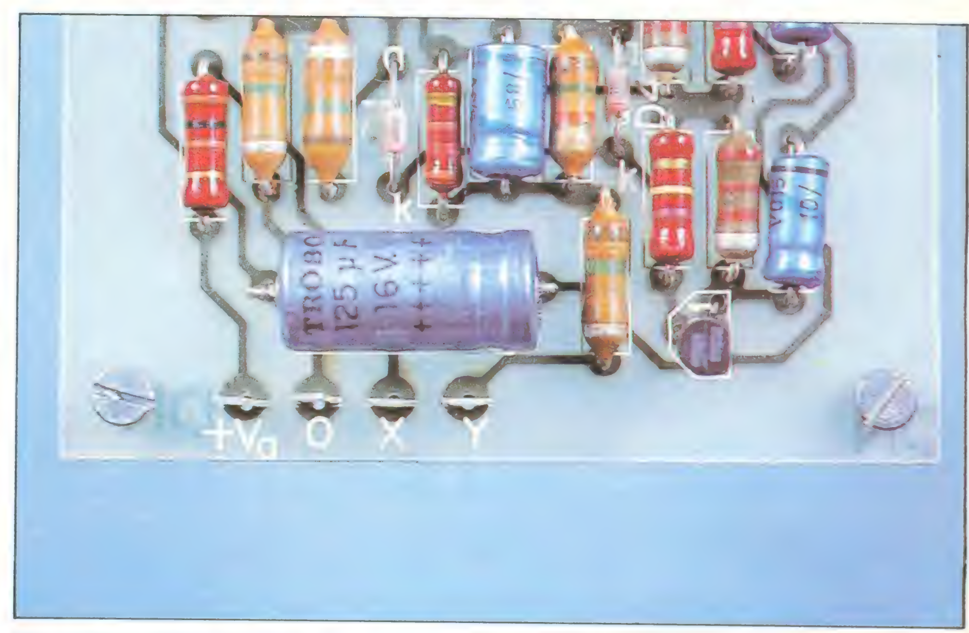
El Conmutador Electrónico de bandas es un módulo que tiene como misión la selección de una de las dos posibilidades de recepción de señales, correspondientes a Onda Media o Frecuencia Modulada:
Su forma de funcionamiento está íntimamente relacionada con el conmutador frontal del equipo encargado de esta selección, el cual envía la tensión de alimentación bien a los circuitos de FM o al de AM aplicándola también a las entradas X o Y del circuito considerado.
Las señales se envían a los puntos A, M y B destinados a los dos canales estereofónicos o a los C y M para la procedente del Sintonizador de Onda Media.
Al recibir tensión positiva el circuito por el punto X se polarizarán directamente los diodos D1 y D2, así como los transistores TR1 y TR2, pasando la señal de FM desde la entrada a las bases de los transistores, los cuales están dispuestos según el montaje de seguidores de emisor, con lo que la señal se obtendrá de ambos emisores en baja impedancia y se enviará a las salidas P, M y Q.
Si la tensión positiva alcanza el punto Y, los diodos que se polarizarán en sentido directo serán D3 y D4, con lo que la señal de AM podrá alcanzar las bases de TR1 y TR2, repitiéndose la misma situación anterior. Este circuito se alimenta de los 12 V que recibe por el punto + Va, efectuándose un filtrado mediante R12 y C6.

Módulo de alimentación

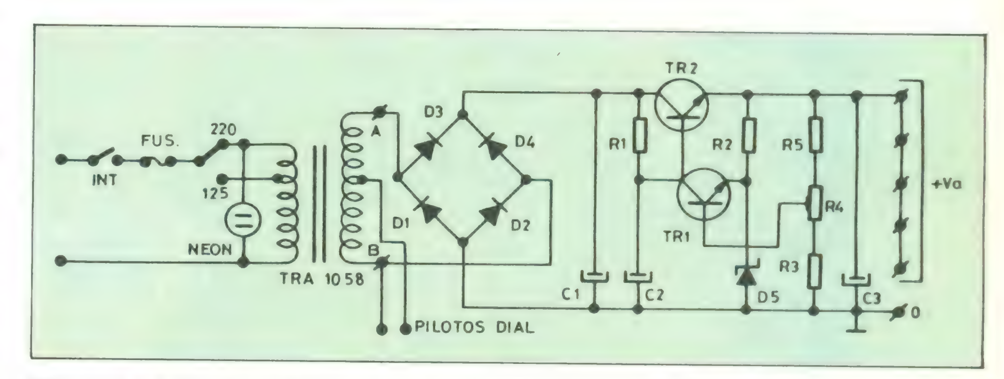
El módulo de alimentación obedece a un diseño muy común y consiste en un transformador de alimentación, cuyo secundario entrega la tensión alterna a un puente rectificador compuesto por los diodos D1 a D4. La continua obtenida se filtra mediante C1 y se aplica al estabilizador serie constituido por TR1, TR2, el zener D5 y sus componentes asociados, pudiéndose regular la tensión de salida que se obtiene en los puntos + Va y 0 mediante la resistencia ajustable R4.

Modelo B

Este equipo está formado por una sección receptora de FM, cuyo diseño garantiza una correcta selectividad y que presenta una sensibilidad en antena de 1,5 μV. Además, contiene otra etapa receptora de AM independiente, con sensibilidad de 20 μV.



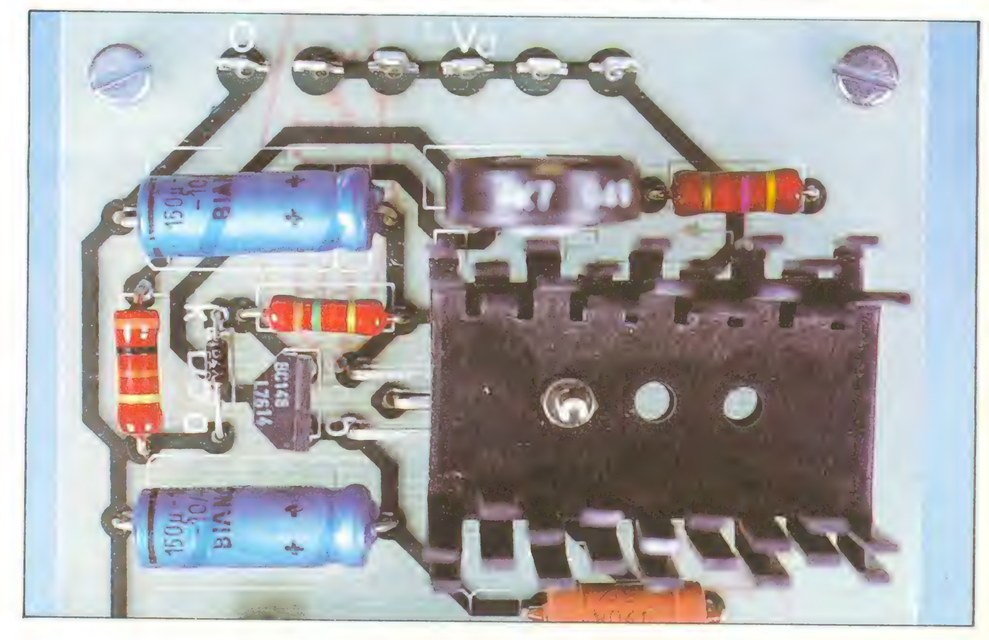
Esta es una de las etapas del circuito Conmutador de bandas en la que se observan los diodos selectores y un transistor de salida.



Esquema eléctrico de la Fuente de alimentación.

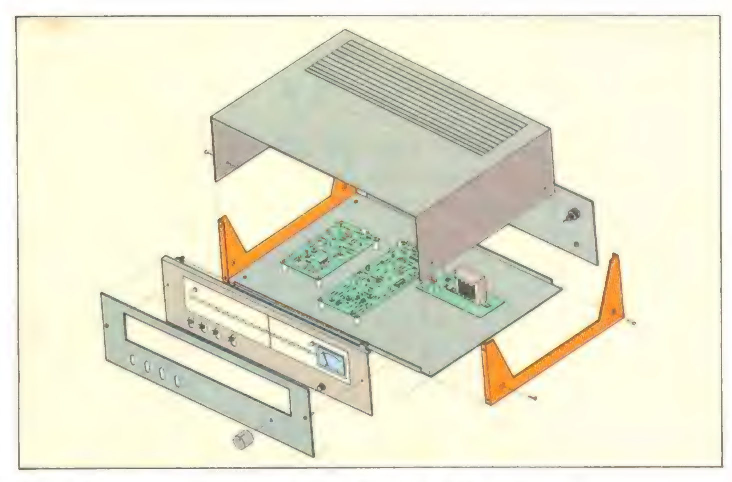


Detalle de la etapa estabilizadora de tensión en la Fuente de alimentación.

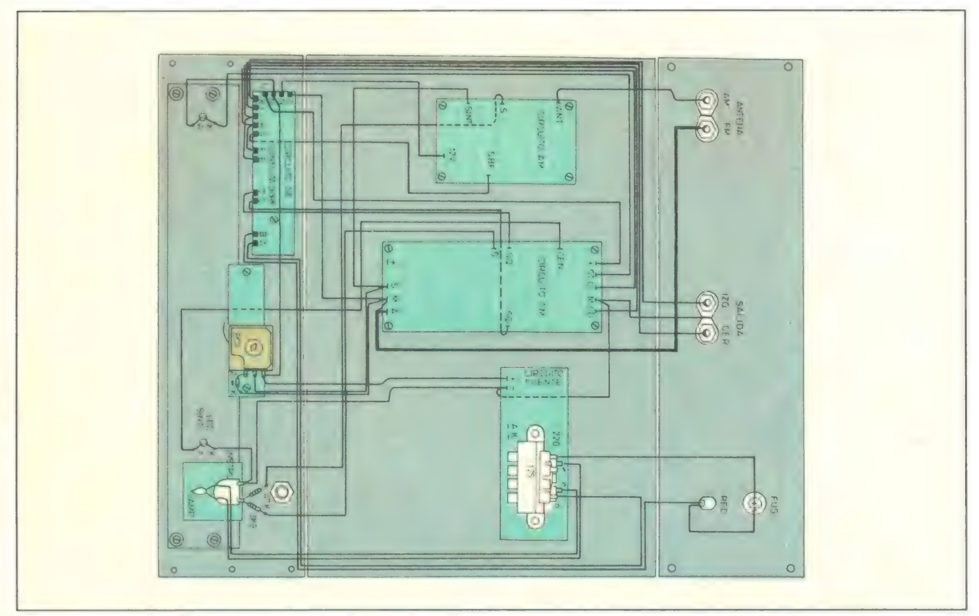




Conjunto de materiales del sintonizador (modelo B).

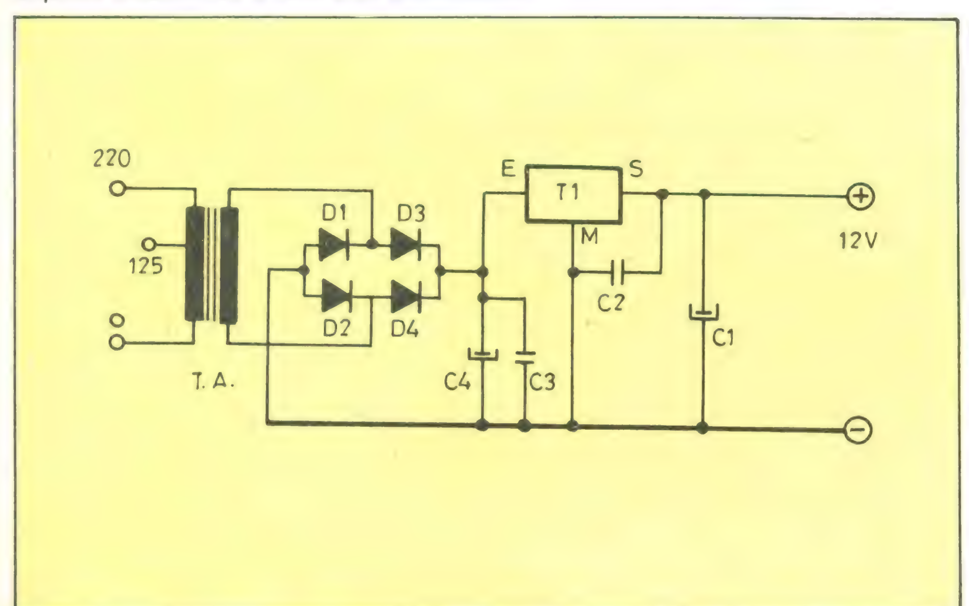


Montaje de los circuitos sobre la caja del equipo.



Conexiones del sintonizador con el amplificador.

Esquema eléctrico de la fuente de alimentación.



El nivel de la señal de salida es de 250 mV para FM y 300 mV para AM, y la sintonía se logra mediante un instrumento de cuadro móvil que indica la señal captada, acompañado de un diodo Led que se ilumina en el punto óptimo. Se incluye también un segundo diodo Led para indicar si la señal captada es estereofónica. Se ha utilizado el Kit n.º 76 y la caja CAMP-7 de Sales Kit.

Relación de materiales

Circuito de alimentación

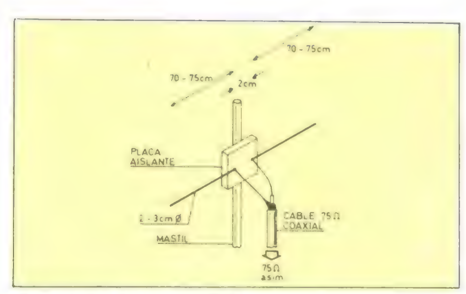
• C1: Condensador electrolítico 100 μF /25 V • C2 y C3: Condensadores poliéster 100 nF • C4: Condensador electrolítico 1.000 μF /16 V • D1 a D4: Diodos 1N4004 • CI1: Circuito integrado 7812 • Transformador 125, 220 /12,6. 0.3 A • Circuito impreso de 120 × 45 mm.

Circuito de conmutación

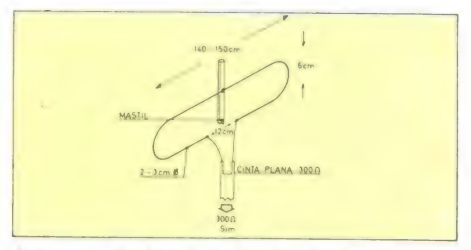
• 4 llaves conmutadoras 2 posiciones, 4 circuitos • Circuito impreso de 116 × 32 mm.

Varios

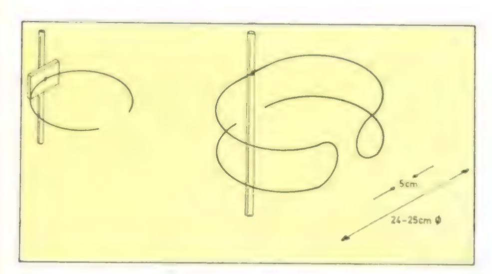
• Circuito receptor de AM montado y ajustado, mod. 533 • Circuito receptor de FM montado y ajustado, mod. 529 • Resistencia 1/4 W 3,3 K • Resistencia 1/4 W 10 K • Resistencia 1/4 W 47 K • Diodo 1N4148 • 2 diodos Led rojos • Lamparita 12 V con rabillos • 1 potenciómetro 100 K, sintonía con desmultiplicador • Portafusibles panel • Fusible 0,5 A • 4 conectores CINCH hembra • 4 conectores CINCH macho • 2 carátulas fijación Led • 1 pasacables • 1 instrumento de medida TUNING • 1 eje mando sintonía • 1 ovillo hilo dial • 1 polea dial • 1 muelle dial • 1 aguja dial • 1 botón de mando de sintonía • 1 cable de red con clavija • 2 m. mazo cablecillo de 4 conductores



Antena del tipo dipolo.



Antena del tipo dipolo doblado.



Antena doblada en círculo (omnidireccional).

• 1 m. cable apantallado • 1 caja CAMP-7 con accesorios de montaje (no incluida en el Kit).

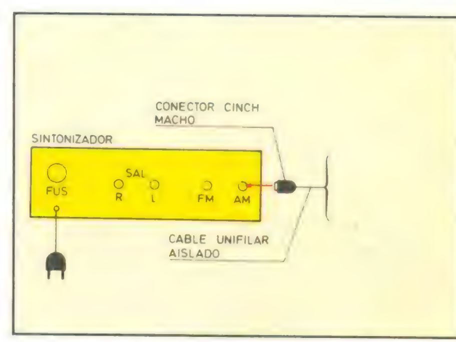
Antenas para el sintonizador

Para frecuencias de VHF, banda en la que se localizan las emisoras de radiodifusión en modulación de frecuencia, suele ser conveniente el empleo de antenas exteriores (sobre el tejado) y, además, periódicas; esto es, de unas dimensiones acordes con la longitud de onda de la señal que desea captarse.
El mejor tipo de antena para la banda de FM es el *dipolo,* formado por dos varillas rectilíneas dispuestas como muestra la figura. Su longitud debe ser, aproximadamente, una semilongitud de onda de la señal recibida. Así, para la banda de 86-108 MHz, la longitud adecuada para el dipolo es de 140 a 150 centímetros, con una separación central de unos 2 centímetros. La varilla a emplear puede ser de aluminio, acero inoxidable o algún material conductor similar, con un diámetro de 2 a 3 centímetros.

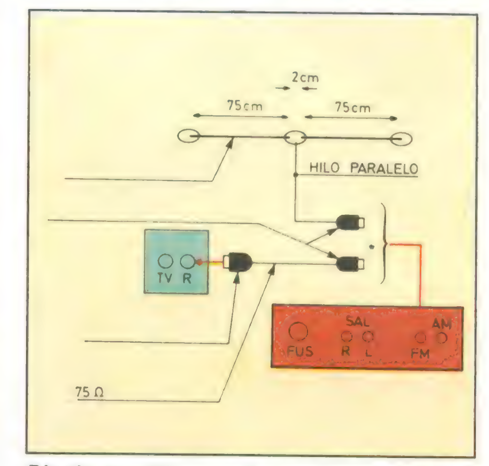
La impedancia de esta antena es de 75 Ω, por lo que debe conectarse al receptor con ayuda de un cable coaxial de igual impedancia.
Igualmente eficaz es otro tipo de antena similar, denominada *dipolo doblado.* Su longitud es la misma que la de un dipolo, estando los dos brazos separados una distancia de 6 centímetros. El punto central del brazo superior se encuentra a un potencial de señal nulo, por lo que puede aprovecharse para fijar el mástil *sin* necesidad de placa islante.
La impedancia de este tipo de antena es de 300 Ω, y el cable a emplear es del tipo de cinta plana de la misma impedancia. No debe emplearse cable coaxial de 75 Ω para conectar esta antena al receptor. Los dos tipos de antena mencionados deben colocarse en posición horizontal y lo más elevada posible sobre el terreno circundante, con el fin de evitar la captación de fuentes de ruido. Presentan una acusada directividad, de forma que el máximo de señal captada se obtiene cuando la emisora se encuentra sobre una línea perpendicular a la antena.
En zonas urbanas, o en aquellos otros lugares en que deseen recibirse emisoras desde distintos puntos, no todos en la dirección de máxima intensidad de señal, pueden doblarse las antenas en círculo, con lo que se obtendrá recepción omnidireccional.

Instalación y recomendaciones

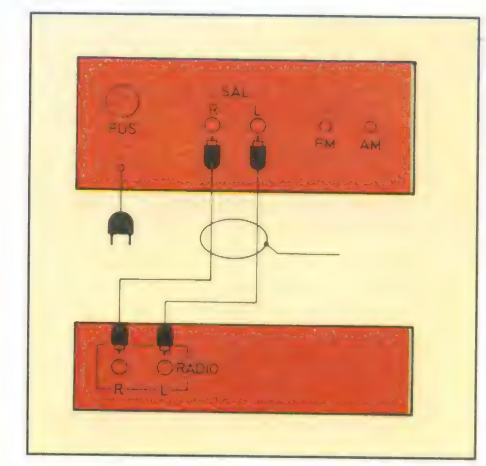
El sintonizador requiere tres conexiones externas para funcionar: la toma de red alterna, la conexión de las antenas (separadas para modulación de amplitud y de frecuencia) y la conexión de la señal de audio (una por canal).
La conexión de antena se hace sobre toma CINCH, que es un tipo de conector coaxial. La impedancia de entrada de la parte de FM es de 75 Ω, que es igual que la normalizada de conexión para las instalaciones de antena colectiva en edificios y locales. Por tanto, tan sólo se requerirá un cable coaxial de 75 Ω y un par de conectores adecuados en cada extremo del mismo. En centros urbanos o lugares en donde haya suficiente nivel de señal puede emplearse un dipolo sencillo construido con un par de hilos.
La banda de onda media que incorpora el sintonizador también necesita antena. Un simple hilo de cualquier longitud (cuanto más largo, mejor)



Conexión de la antena para Onda Media.

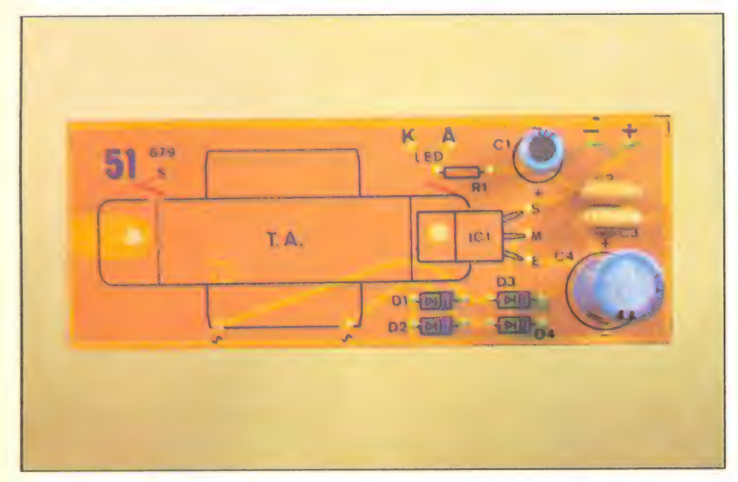


Dipolo sencillo para lugares con suficiente señal.

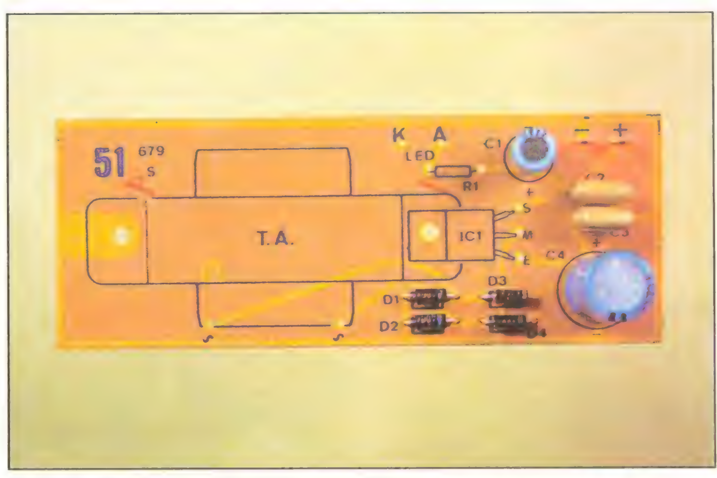


Conexionado del sintonizador (modelo B).

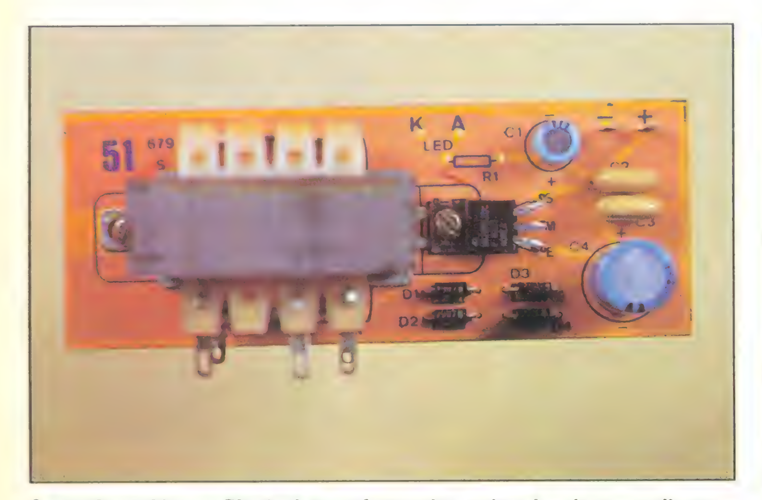
será suficiente en la mayoría de los casos. Valen igualmente las antenas en espiral que se utilizaban antiguamente con las radios de válvulas. En caso de querer aumentar el número de emisoras recibidas puede ser conveniente una antena sobre el tejado o un hilo aislado tendido verticalmente por la fachada del edificio.
Finalmente, las conexiones de la señal de salida se hacen también a través de conectores CINCH. Se unirán con hilo blindado al amplificador que vaya a utilizarse. La entrada debe ser de las denominadas «lineales», siendo las más apropiadas las marcadas como radio, sintonizador, tuner o auxiliar.



Esta imagen corresponde al primer paso de montaje de la fuente de alimentación, en el que se insertarán y soldarán los cuatro condensadores que se observan, ya que no se precisa ninguna resistencia. Los dos electrolíticos se instalarán teniendo en cuenta su polaridad.



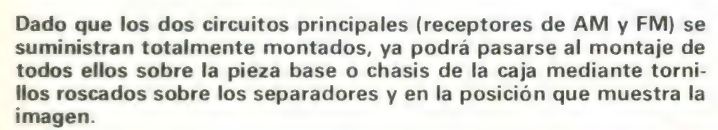
Este circuito utiliza cuatro diodos del mismo tipo, que se situarán en las posiciones D1 a D4. Para ello se doblarán sus terminales en ángulo recto y se posicionarán teniendo en cuenta la indicación del cátodo. Después de soldados se cortarán los restos de terminales.

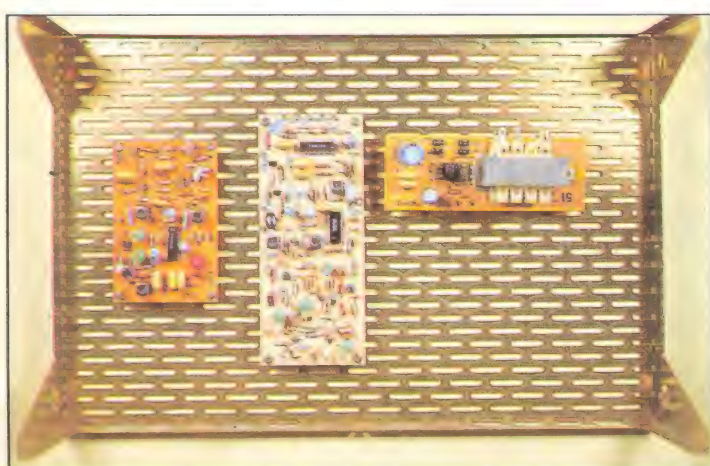


A continuación se fijará el transformador sobre la placa mediante dos tornillos y dos separadores de 10 milímetros. Uno de estos tornillos se empleará también para fijar el circuito integrado, haciendo que el conjunto actúe como radiador. Después se soldarán las tres patillas del integrado.

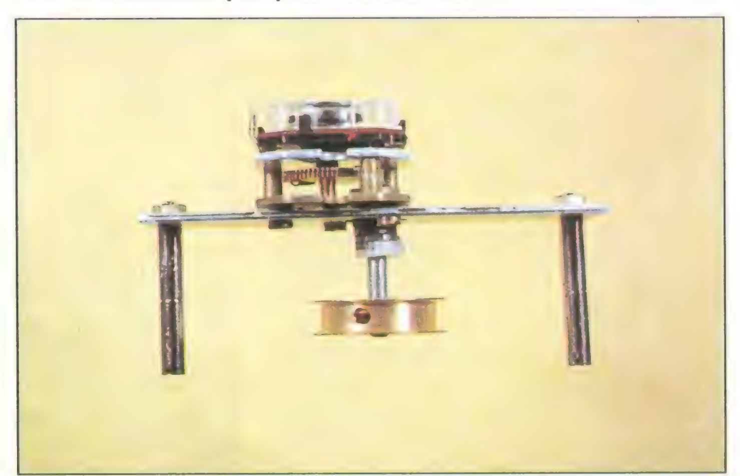


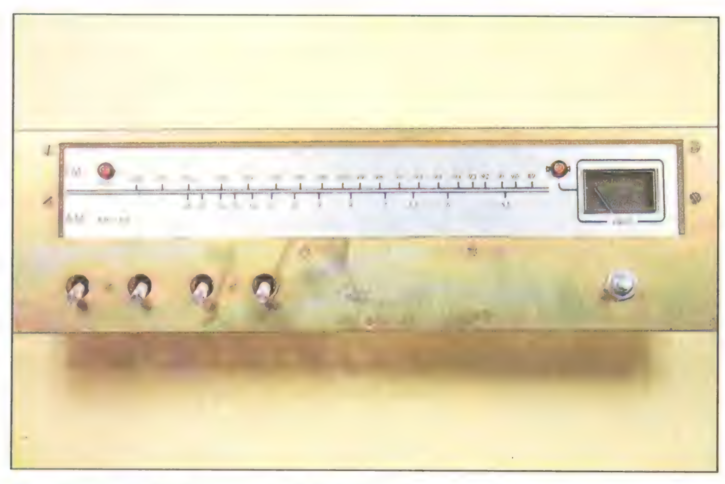
La otra placa del equipo que debe montarse es la destinada a servir de soporte a los conmutadores de funciones del panel frontal y también como base para la interconexión. Puede verse en la imagen que todos ellos se han soldado al circuito, añadiendo dos separadores de 20 milímetros.


Dado que los dos circuitos principales (receptores de AM y FM) se suministran totalmente montados, ya podrá pasarse al montaje de todos ellos sobre la pieza base o chasis de la caja mediante tornillos roscados sobre los separadores y en la posición que muestra la imagen.

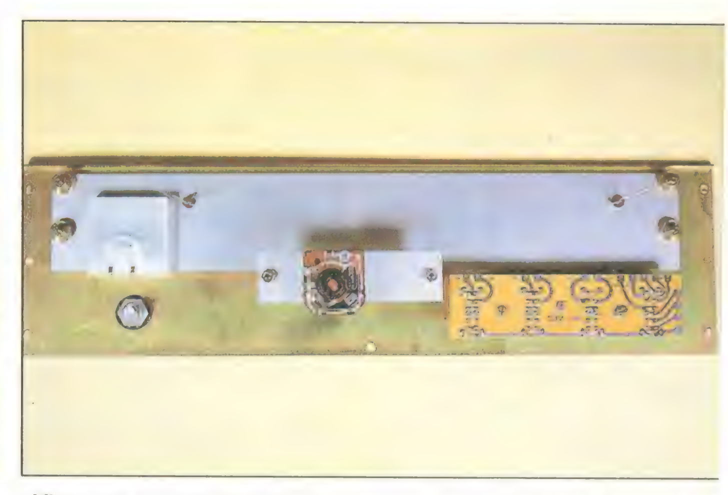


Antes de efectuar el montaje de los paneles frontal y trasero es preciso formar el conjunto que muestra la imagen. Se trata del potenciómetro de sintonía, el cual se fijará a una pieza soporte de aluminio mediante sus tres tornillos, montando dos separadores de 25 milímetros y la polea de arrastre.

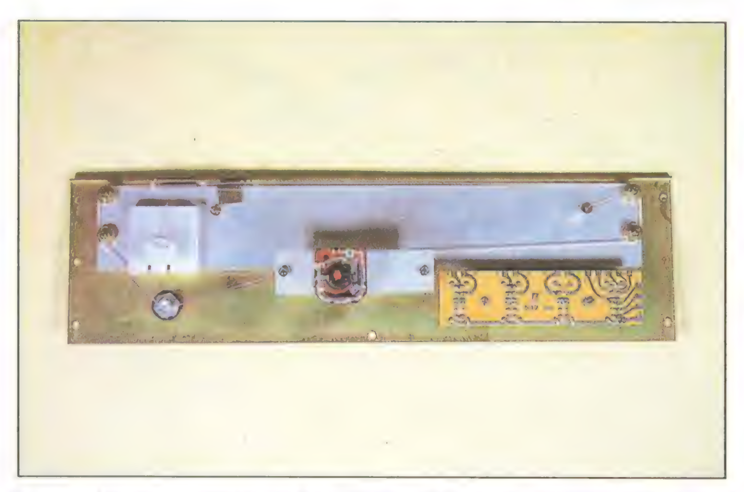




Seguidamente se procederá a montar el panel frontal, instalando todos sus elementos sobre la pieza que sirve de soporte. Así pueden verse la placa del dial con el instrumento de sintonía y los Leds indicadores, las cuatro palancas de los conmutadores y el eje de mando de sintonía.



Vista del panel frontal desde su cara trasera. Aquí puede verse qu la placa del dial se ha montado con cuatro separadores de 4 mili metros, instalando las poleas de arrastre del dial en los extremos El conjunto del potenciómetro y el circuito de conmutadores s han fijado con sus propios separadores.

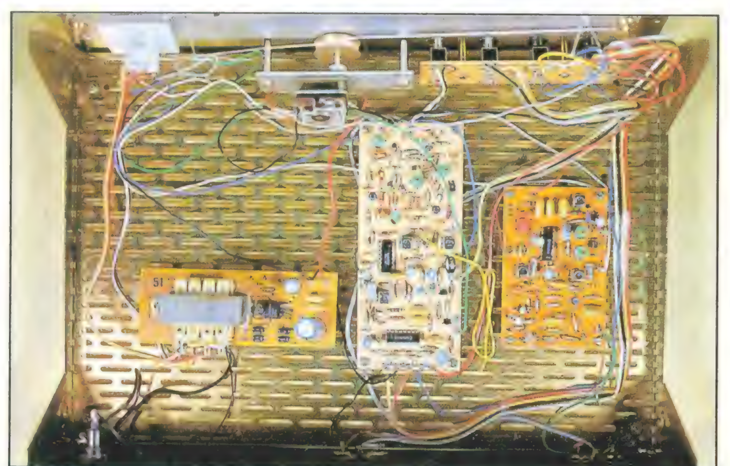


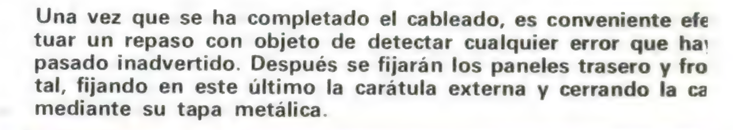
La siguiente operación sobre el panel frontal corresponde a la instalación del hilo del dial. Para ello deben darse cuatro vueltas sobre la polea del potenciómetro de sintonía y dos sobre el eje de mando, tensando el conjunto mediante un muelle y montando la aguja indicadora, de forma que cubra todo el recorrido necesario.



El montaje del panel trasero es más simple y presenta menc dificultades que el anterior. Los elementos que deben instalars son los cuatro conectores CINCH hembra para las dos antenas (A y FM) y las dos salidas de audio, el portafusibles y la pieza pasac bles destinada al cable de red.

Después se efectuará la interconexión entre los distintos circuito y módulos. Es de destacar que sólo es necesario cable apantallado para la conexión de la antena de FM. Además deben instalarse un diodo en uno de los extremos del potenciómetro de sintonía y dos resistencias en el instrumento de medida.





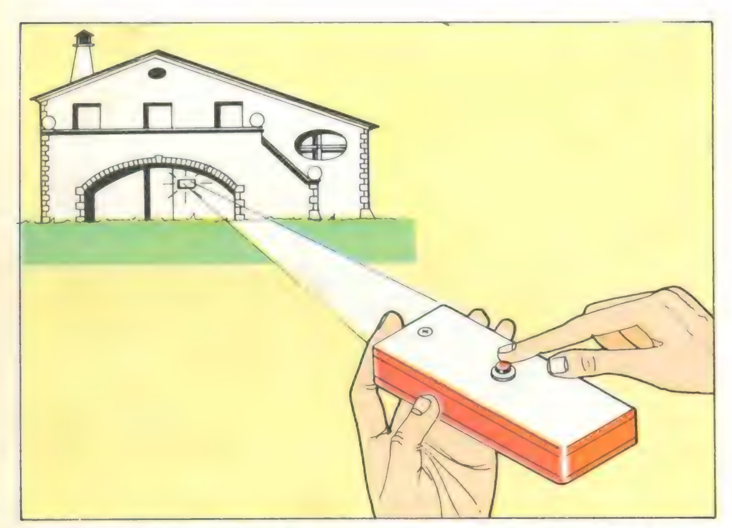
Una vez que se ha completado el cableado, es conveniente efe tuar un repaso con objeto de detectar cualquier error que ha pasado inadvertido. Después se fijarán los paneles trasero y fro tal, fijando en este último la carátula externa y cerrando la ca mediante su tapa metálica.

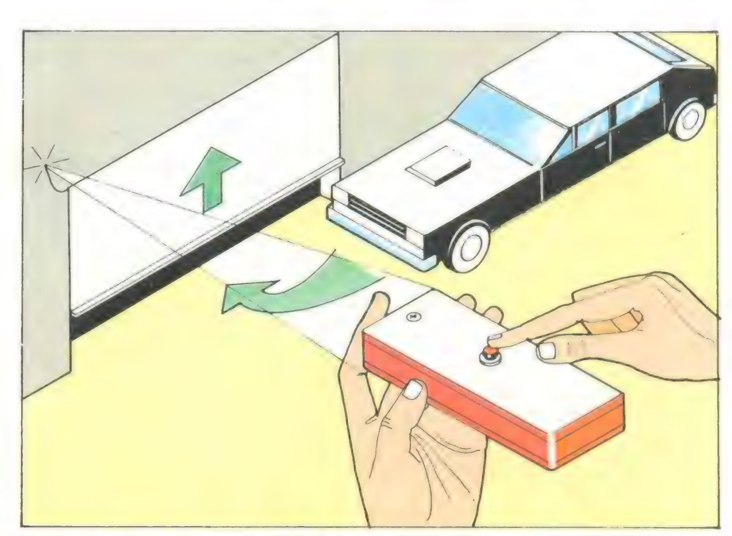


Telemando por radio

CUALQUIER sistema de telemando por radio está basado en realizar la comunicación de las órdenes entre el emisor y el receptor mediante una señal radioeléctrica. Las principales ventajas de este telemando frente a otros procedimientos es la completa independencia entre el emisor y el receptor, ya que no es necesaria ninguna línea conductora entre ambos, lo que redunda en una total autonomía del emisor, que en consecuencia puede ser de reducido tamaño y portátil, alimentado por pilas. Otra ventaja es que no es necesario que exista entre ambos un enlace óptico, sino que pueden estar situados en zonas separadas por obstáculos intermedios.

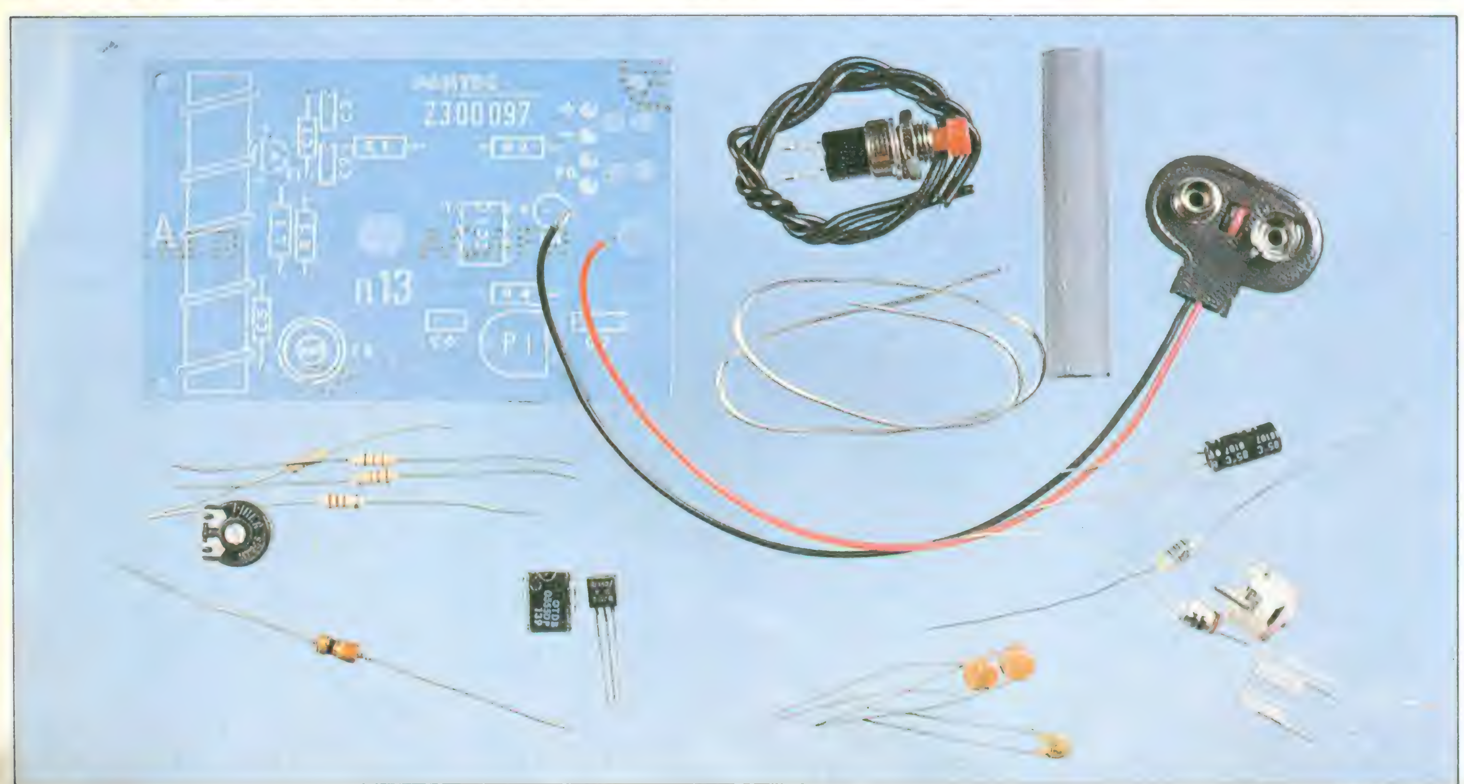
Su mayor eficacia se consigue en lugares abiertos, ya que en el interior de





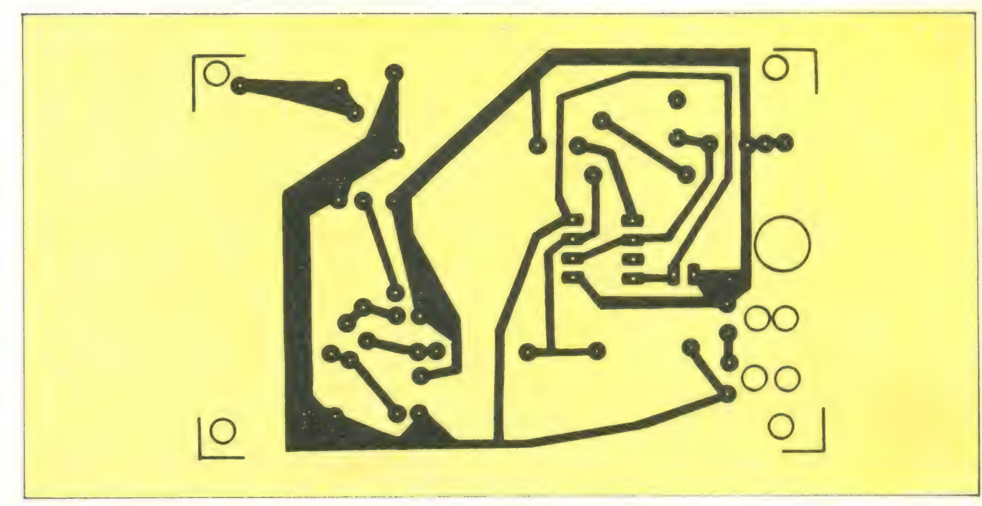
Entre las aplicaciones del equipo destacan la apertura a distancia de puertas y la conexión de sistemas de alarma.

Conjunto de materiales correspondiente al equipo emisor del modelo A.



edificios puede verse reducido su alcance por la atenuación originada por todas las estructuras metálicas que existan en los mismos, debiendo en estos casos analizar si no resulta más adecuado alguno de los sistemas anteriores.

Debido a estas características puede constituirse un sistema apropiado para actuar a distancia sobre motores, abrepuertas y desconexión de sistemas de alarma. En base a esto, es destacable la utilización como mando de apertura a distancia de la puerta de un garaje, situando el receptor como control del motor eléctrico de accionamiento de la misma y llevando el emisor en el interior del automóvil,



Circuito impreso del emisor de Telemando (Modelo A). Tamaño real.

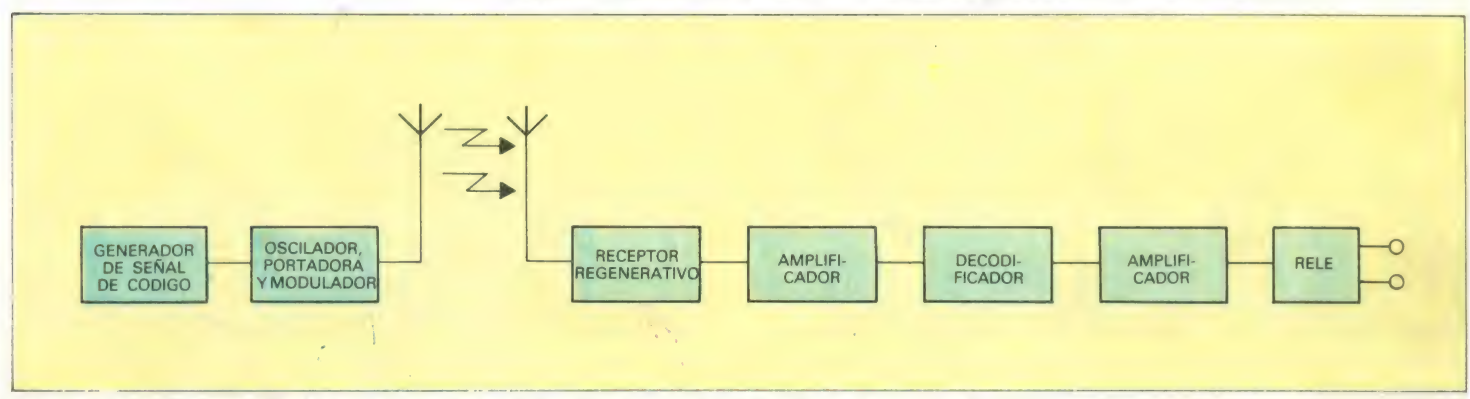


Diagrama de bloques del sistema completo emisor-receptor correspondiente al modelo A.



Circuito impreso del emisor; se observa la serigrafía de componentes que indica claramente las posiciones de todos ellos.

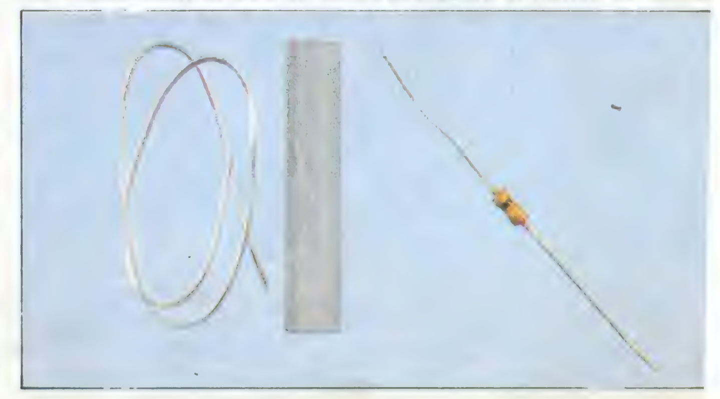


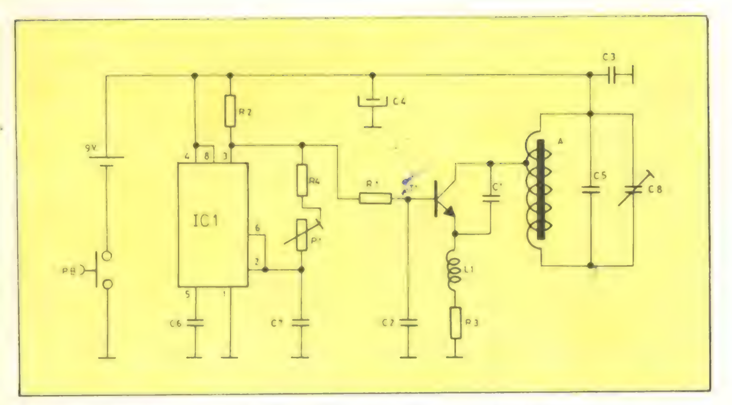
Estas son las resistencias necesarias para este equipo. Están ordenadas de izquierda a derecha de R1 a R4. Se encuentra también e potenciómetro P1.

Obsérvese el conjunto completo de condensadores. Son de cuatro tipos: cerámicos, styroflex, poliéster y electrolíticos.



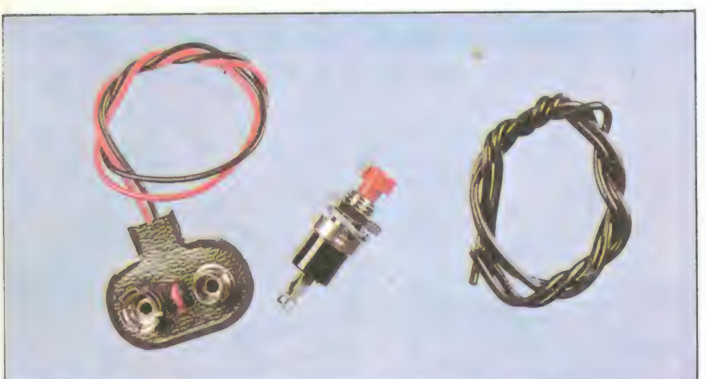
Son dos las bobinas necesarias para el equipo emisor. La de l derecha se identifica mediante un código de colores similar al d las resistencias, la otra se construirá sobre el núcleo de ferrita





Esquema eléctrico del equipo emisor (modelo A).

El conjunto de semiconductores está formado por dos elementos: un transistor y un circuito integrado.





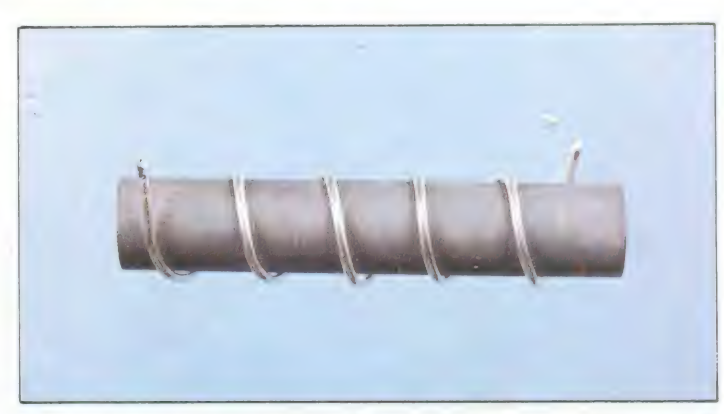


Para completar el equipo se incluye un pulsador, un conector de pila tipo clip y un pedazo de cablecillo.

La primera tarea de montaje consiste en colocar todas las resistencias en las posiciones indicadas.



Después se montarán los condensadores, teniendo cuidado con la orientación de los electrolíticos y con la manipulación del variable, ya que podría deteriorarse.



Antes de proceder al montaje de las bobinas es necesario construir la de antena, dando varias vueltas del hilo desnudo sobre la ferrita, como puede verse en la fotografía.

con lo que podrá accionarse aquélla, con gran comodidad, sin necesidad de descender del vehículo. Con objeto de que el lector posea la suficiente información sobre el tema, se van a describir dos diferentes sistemas de telemando que denominaremos A y B que, aún partiendo del mismo medio para el envío de órdenes (la radio), presentan distintas formas de funcionamiento. Así, por ejemplo, la frecuencia de trabajo del primero es de 27 MHz, mientras que la del segundo es de 38 MHz; por otra parte, el emisor del modelo A incorpora una antena interior de ferrita y en el modelo B se precisa una antena exterior de varilla, etc.

Modelo A

Para construir este sistema se han elegido dos kits preparados para esta función y conteniendo todos los materiales necesarios. Se trata de los kits núms. 13 y 14 de la serie PANTEC HOBBY KITS, correspondiendo el primero al emisor y el segundo al receptor.

Las listas de materiales son las siguientes:

Kit 13 (emisor):

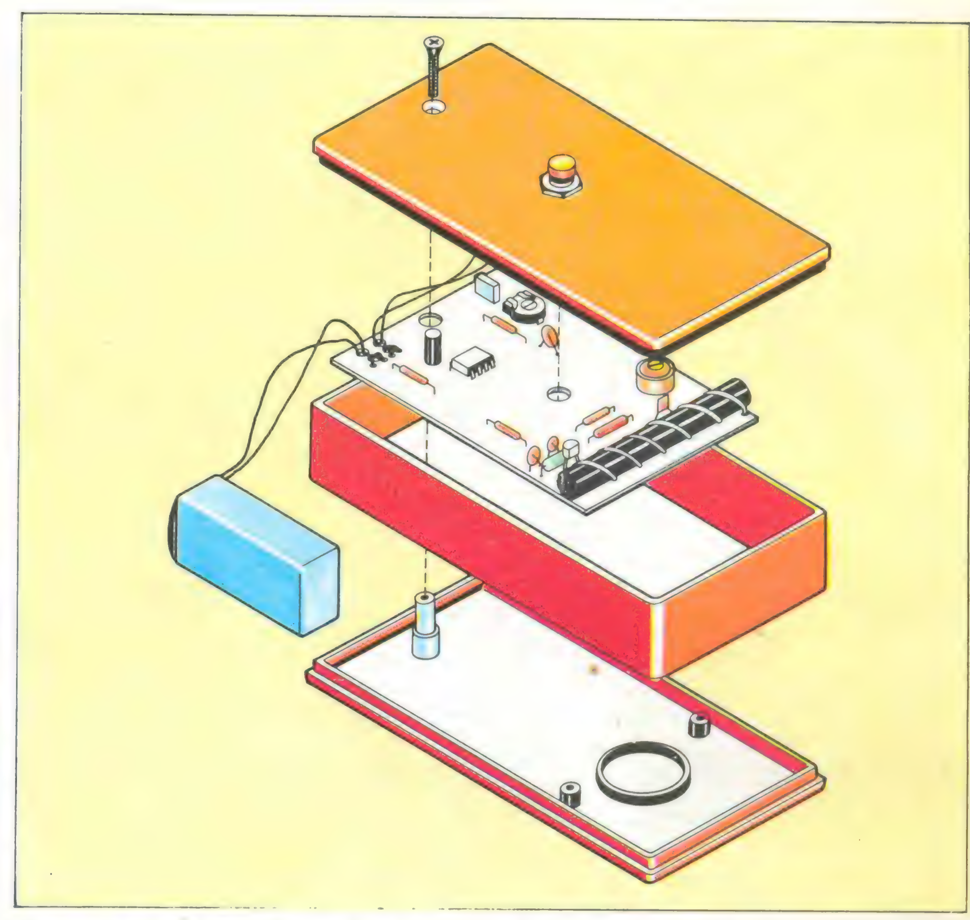
• R1: Resistencia 1/4 W 8,2 K • R2: Resistencia 1/4 W 2,2 K • R3: Resistencia 1/4 W 22 Ω • R4: Resistencia 1/4 W 27 K • P1: Potenciómetro circuito impreso 22 K • L1: Bobina 100 μH (marrón, negro, marrón) • C1: Condensador 82 pF • C2: Condensador 1.000 pF • C3: Condensador 10.000 pF • C4: Condensador 10 μF/16 V • C5: Condensador 27 pF • C6: Condensador 10.000 pF • C7:



Ahora ya pueden ser insertadas las dos bobinas. La indicada con L1 podría ser confundida con una resistencia por lo que si se tiene alguna duda podría comprobarse con el polímetro.



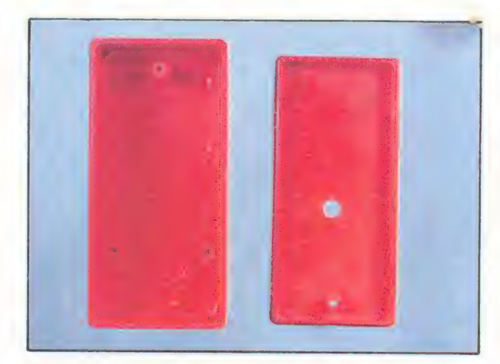
Este es el momento oportuno para insertar los semiconductores. La posición del integrado está indicado por una muesca situada en un extremo de su cápsula.



Montaje de las diversas partes que componen el emisor (modelo A).



El equipo se completa con la soldadura de los cablecillos del clip para la pila y con los dos conductores del pulsador montando éste en un extremo de los mismos.



Con objeto de conseguir un mejor acabado, se puede adquirir una caja plástica como la mostrada en la fotografía, sobre la que se ha practicado un taladro para fijar el pulsador.



Aspecto final del equipo emisor ya montado sobre la caja y con la pila conectada al mismo.

Condensador 4.700 pF • C8: Condensador cerámico variable de 4 a 20 pF • T1 Transistor BC237B • CI1: Circuito integrado 555 • Antena ferrita 5 espiras • Pulsador • Conector pila de clip.

Kit 14 (receptor):

• R1: Resistencia 1/4 W 10 K • R2: Resistencia 1/4 W 4,7 K • R3: Resistencia 1/4 W 100 K • R4: Resistencia 1/4 W 470 Ω • R5: Resistencia 1/4 W 1,2 K • R6: Resistencia 1/4 W 18 K • R7: Resistencia 1/4 W 18 K • R8: Resistencia 1/4 W 10 K • R9: Resistencia 1/4 W 1 K • R10: Resistencia 1/4 W 22 K • R11: Resistencia 1/4 W 6,8 K • R12: Resistencia 1/4 W 100 K • R13: Resistencia 1/4 W 220 K • R14: Resistencia 1/4 W 1 K • R15: Resistencia 1/4 W 3,9 K • R16: Resistencia 1/4 W 27 K • R17: Resistencia 1/4 W 1 M • R18: Resistencia 1/4 W 10 K • R19: Resistencia 1/4 W 12 K • R20: Resistencia 1/4 W 3,3 K • R21: Resistencia 1/4 W 330 Ω • R22: Resistencia 1/4 W 10 K • R23: Resistencia 1/4 W 15 K • P1: Potenciómetro circuito impreso 4,7 K • C1: Condensador 10.000 pF • C2: Condensador 10.000 pF • C3: Condensador 10.000 pF • C4: Condensador 1.500 pF • C5: Condensador 1.000 pF • C6: Condensador 10.000 pF • C7: Condensador 22 pF • C8: Condensador 22 pF • C9: Condensador 82 pF • C10: Condensador 18 pF • C11: Condensador 0,1 μF • C12: Condensador 0,22 μF • C13: Condensador 0,1 μF • C14: Condensador 10 μF/16 V • C15: Condensador 1 μF/63 V • C16: Condensador 10.000 pF • C17: Condensador 10 μF/16 V • C18: Condensador 10.000 pF • C19: Condensador

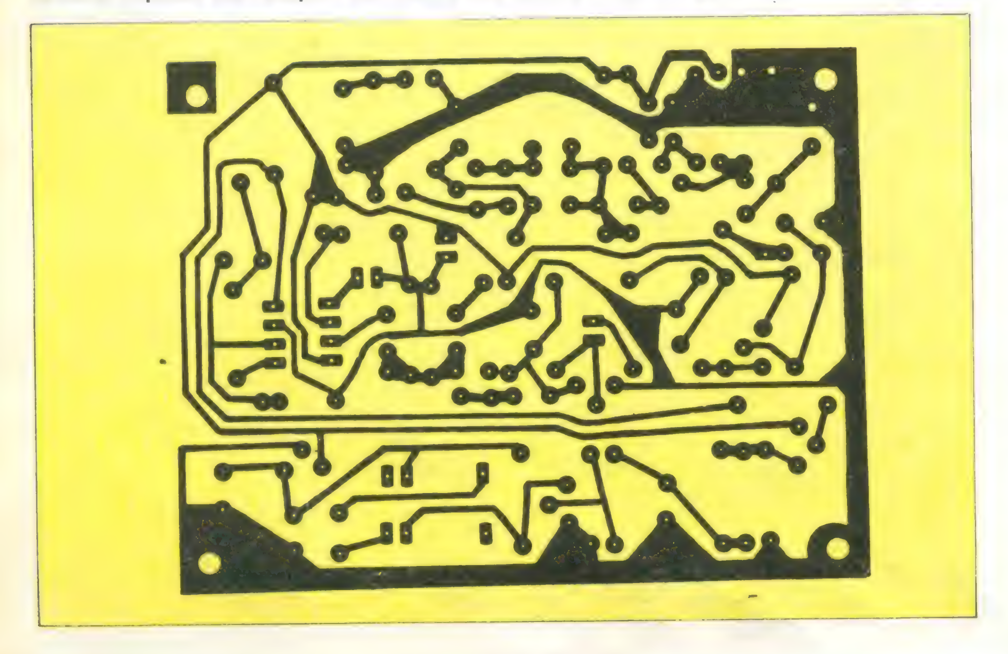
A continuación se procederá a realizar la construcción del equipo receptor cuyos materiales son los mostrados por la fotografía.

0,1 μF • C20: Condensador 0,1 μF • C21: Condensador 0,1 μF • C22: Condensador 47 nF • C23: Condensador 100 μF /16 V • C24: Condensador 100 μF /16 V • L1: Bobina 3,3 μH (naranja, naranja, oro) • L2: Bobina 100 μH (marrón, negro, marrón) • H1: Bobina ferrita plástico • D1: Diodo 1N4148 • D2: Diodo 1N4148 • D3: Diodo 1N4148 • D4: Diodo 1N4148 • T1: Transistor BC237B • T2: Transistor BC239C • T3: Transistor BC237B • T4: Transistor BC307B • T5: Transistor BC237B • T6: Transistor BC237B • CI1: Circuito integrado LM567 • CI2: Circuito integrado 78L08 • Relé G2E • 7 espadines Ø 1,3 milímetros.

Ambos aparatos pueden ser alimentados con tensiones comprendidas entre 9 y 12 V de continua con un consumo de unos 60 mA. La frecuencia empleada para la onda portadora es de 27 MHz, utilizándose un sistema de modulación a base de impulsos con un código doble para evitar que el sistema actúe accidentalmente con señales que trabajen con esta misma frecuencia, aumentando así la seguridad frente a posibles injerencias no deseables.

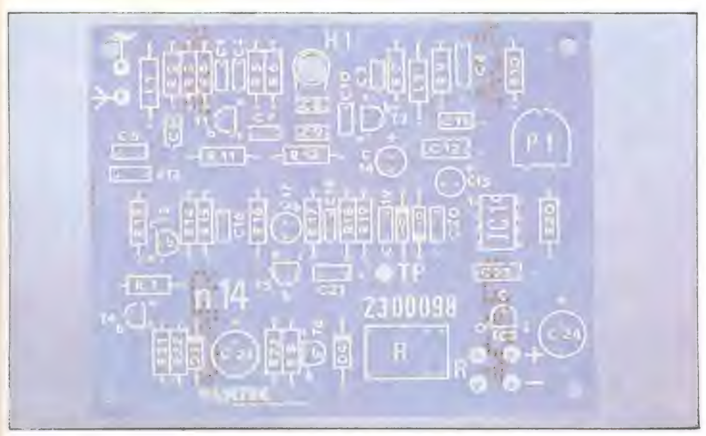
El alcance que se puede conseguir es de alrededor de 500 metros en condiciones de campo abierto.

Circuito impreso del receptor de Telemando (Modelo A). Tamaño real.



Equipo emisor

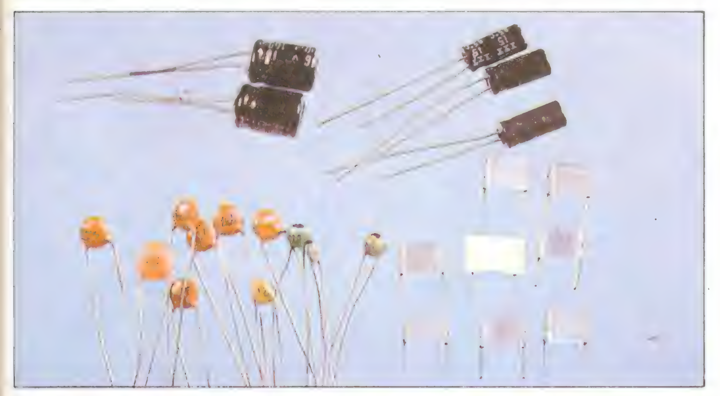
El equipo emisor está constituido por un oscilador astable formado por el circuito integrado CI1 del tipo 555, el cual produce una señal de salida en forma de impulsos cuya frecuencia y anchura es regulada por el potenciómetro P1 y por el valor de las resistencias R2 y R4 y el condensador C7 que al ser elementos con valor fijo no producirán ninguna variación en las condiciones de trabajo. La señal de salida obtenida de la patilla 3 se envía a través de la resistencia R1 al transistor T1, que funciona como oscilador a la frecuencia de la portadora (27 MHz), disponiendo de un circuito resonante L-C, en el que la bobina actúa como antena emisora simultáneamente. La señal de impulsos que le llega por la base produce una modulación, ya que hará que el transistor varíe su punto de funcionamiento, bloqueándose du-



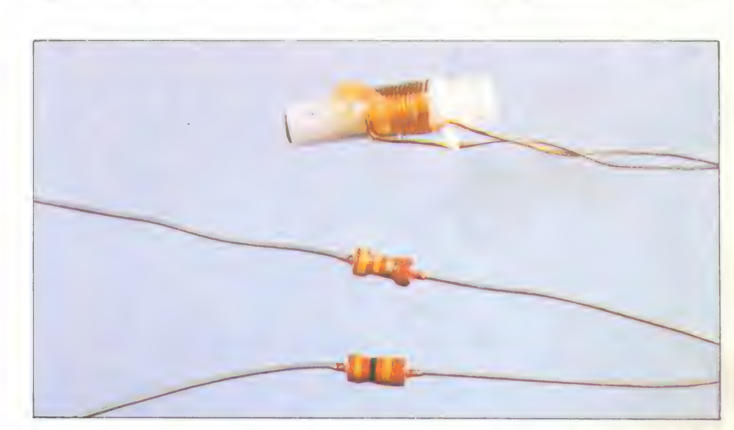
Circuito impreso del receptor. Al igual que el emisor, presenta una imagen serigráfica de la posición de todos los componentes, facilitando el montaje.



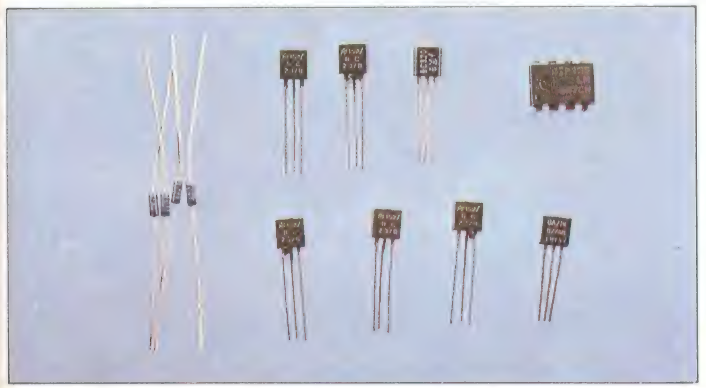
Puede verse la totalidad de resistencias del equipo, ordenados de izquierda a derecha desde R1 a R23 junto con el potenciómetro P1.



Estos son todos los condensadores agrupados por tipos, encontrándose a la izquierda los cerámicos; a la derecha, los de poliéster, y arriba, los electrolíticos.



Este equipo también incluye un conjunto de bobinas de las que las situadas en la zona inferior se identifican por el código de colores.



Conjunto de semiconductores compuesto por los cuatro diodos de la izquierda, seis transistores en el centro y dos circuitos integrados a la derecha.



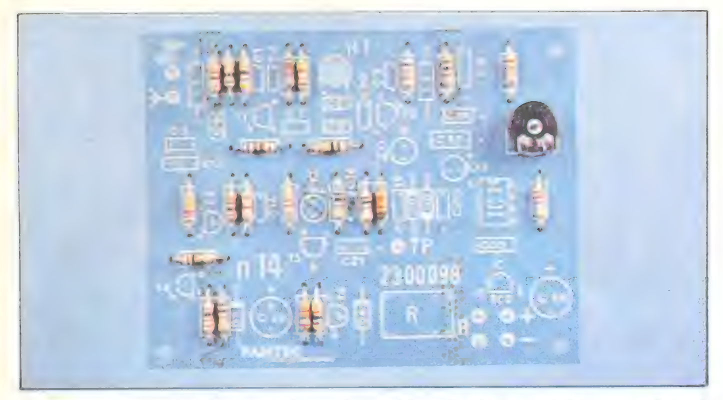
Para completar el equipo se incluye un relé y un grupo de espadines que facilitan las conexiones externas.

rante los períodos en que existe un nivel «0» a su entrada. La tensión de alimentación se obtiene directamente de la pila, con dos condensadores de filtro (C3 y C4), actuando el pulsador como interruptor de la conexión del negativo a la masa del circuito; de esta forma, el aparato funcionará únicamente al pulsar el botón, quedando pasivo el resto del tiempo.

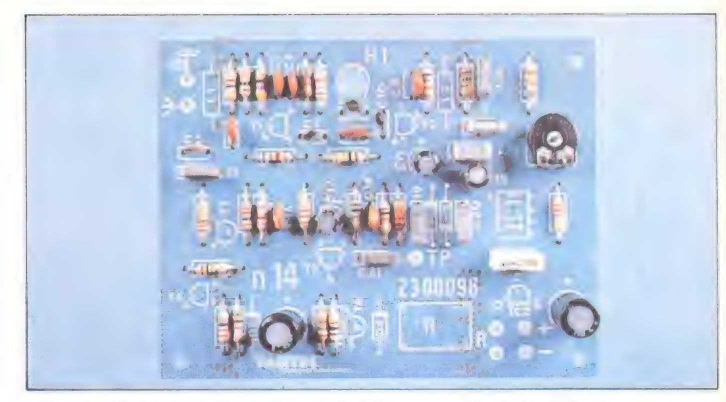
Equipo receptor

El equipo receptor se compone de una etapa amplificadora del tipo regenerativo formada por los transistores T1 y T2 y sus componentes asociados, los cuales efectúan una primera amplificación de la señal modulada que reciben por la antena. De aquí se envía a la siguiente etapa constituida por T3 a través de la resistencia R11 y el condensador C13, en montaje de seguidor de emisor y a su salida se elimina la mayor parte de la frecuencia portadora mediante el filtro formado por R14, C16 y R16. De aquí, la señal resultante que contiene ya los impulsos útiles se hace llegar a la etapa amplificadora constituida por T5, encontrándose a su salida el condensador C18, que elimina los restos de portadora que quedaban. De esta forma, en el punto de la prueba T-P aparecerá una señal alterna en forma de onda cuadrada, la cual podrá ser medida por cualquier polímetro.

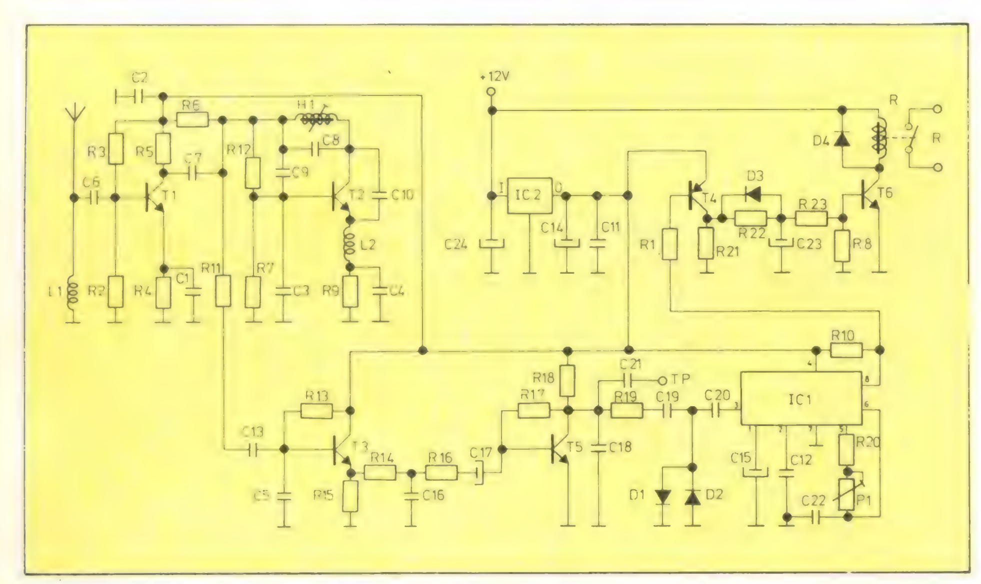
Esta señal llega al circuito integrado CI1 mediante los condensadores C19 y C20, con dos diodos en antiparalelo encargados de limitar el nivel a un máximo de 0,7 V, con objeto de proteger al integrado. Este la recibe por la pati-



El montaje se inicia con la colocación de las resistencias en el circuito impreso ocupando todas las posiciones que les corresponden.

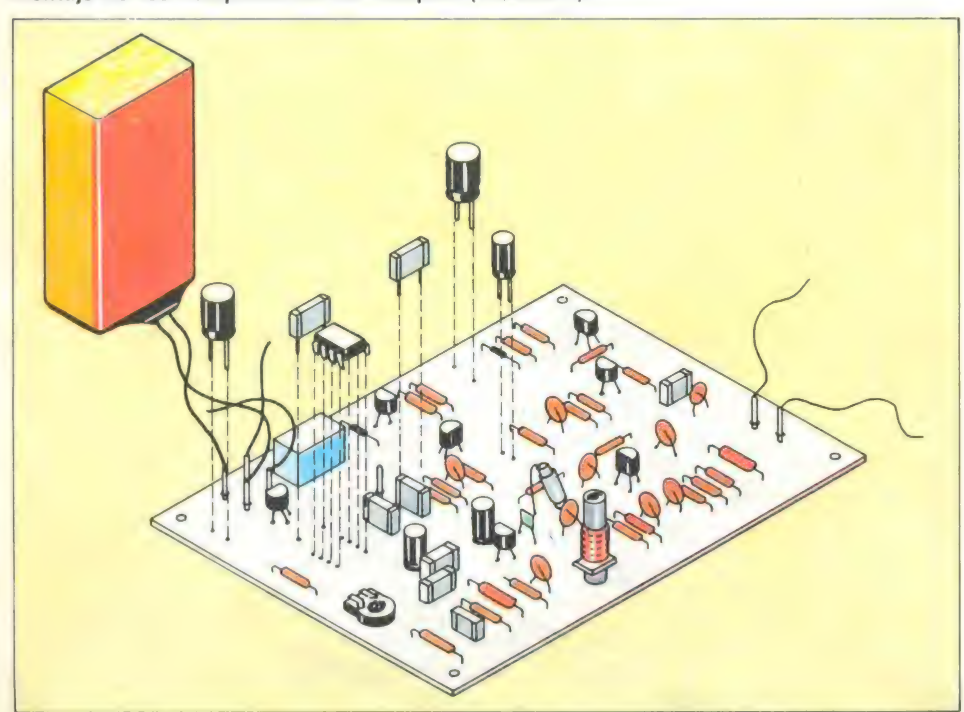


La segunda fase se destina a la inserción de los condensadores, con la precaución habitual respecto a la correcta orientación de los electrolíticos.



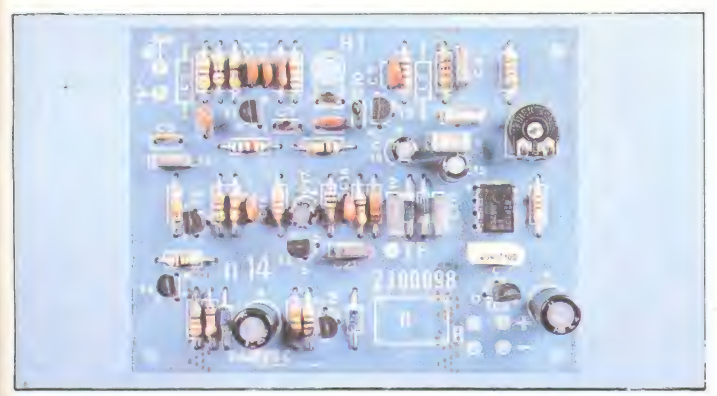
Esquema eléctrico del equipo receptor (modelo A).

Montaje de los componentes del receptor (modelo A).

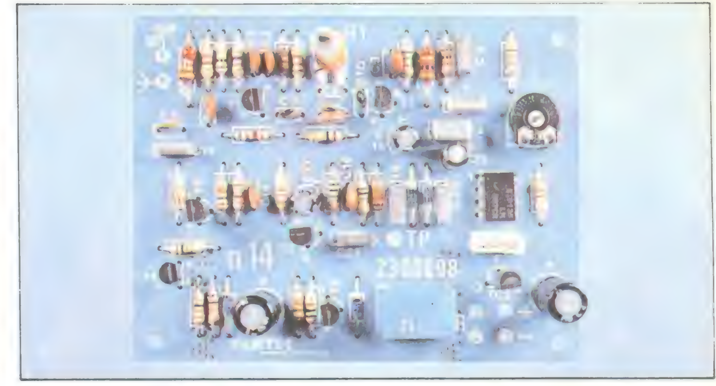


lla 3 y la compara con la que él mismo genera, mediante un oscilador interno cuya frecuencia se ajusta con la elección de las resistencias R20 y P1 y el condensador C22. Si ambas coinciden, el integrado dará una señal de salida por la patilla 8, en forma de un nivel «0», ya que en estado de reposo aparece en este punto una tensión casi igual a la de la alimentación. En estas condiciones, el transistor T4 del tipo PNP que se encontraba cortado por recibir unas tensiones de base y emisor iguales, pasará a saturación cuando le llega por R1 un nivel próximo a 0 V, apareciendo sobre R21 un positivo que alcanza al transistor T6 a través de R22 y R23, saturándole y accionando el relé en consecuencia. El condensador C23 asegura la estabilidad del relé, descargándose por D3 en los momentos en que T4 se encuentre bloqueado.

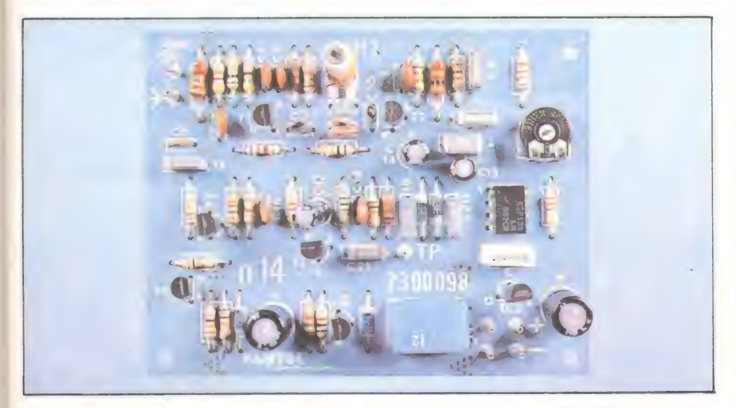
Los contactos del relé permanecerán cerrados durante todo el tiempo en que se reciba la señal, pudiendo conectarse en serie con la alimentación de un motor o cualquier otro equipo para que se ponga en marcha en estos momentos. Con objeto de evitar el tener que estar pulsando el emisor durante toda la operación, puede añadirse un relé biestable conectando su bobina al relé de salida del equipo. Este se actuará al recibir la orden, cambiando de estado y al conectar sus contactos al motor que se desea gobernar se provocará su puesta en movimiento, aunque desaparezca la señal de mando, ya que este último relé mantendrá la posición adquirida. Para completar el automatismo, el motor o sistema móvil que se está gobernando deberá disponer de un interruptor fin de carrera, que le detenga al completar el movimiento que se desee y algún otro dispositivo que invierta el sentido de giro para que al pulsar de nuevo el mando del emisor,



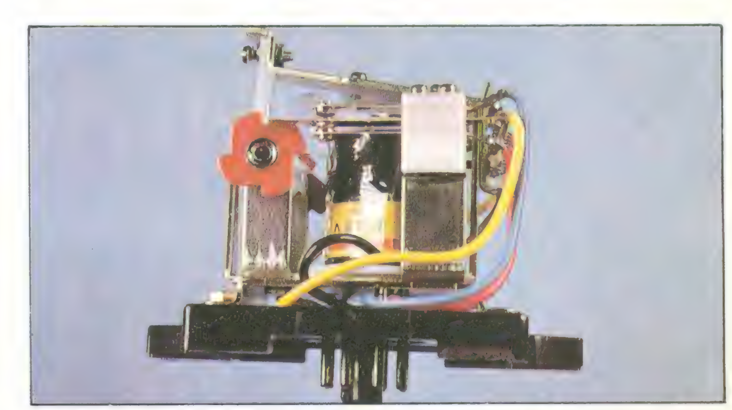
Ahora se montarán los semiconductores posicionando los diodos y transistores según se indica en la serigrafía.



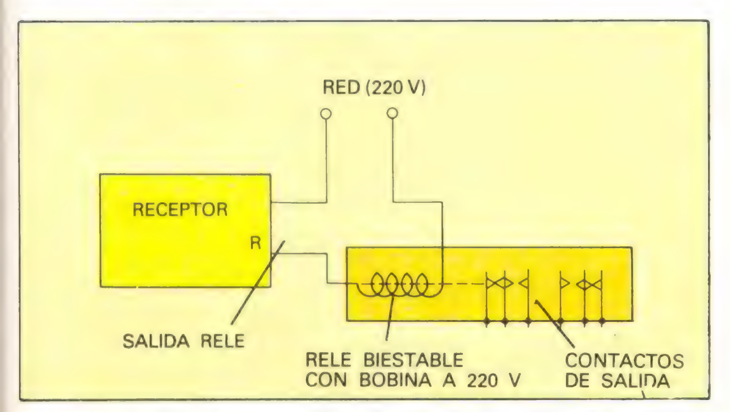
A continuación se colocarán las tres bobinas y el relé. La sujeción mecánica de H1 se garantiza haciendo que penetre un extremo de su carrete soporte por el orificio de la placa, mediante una cierta presión.



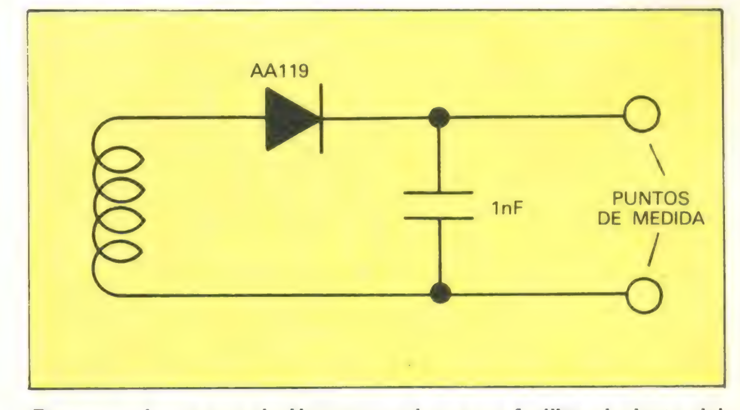
Con el montaje de los espadines puede darse por finalizado este equipo quedando listo para funcionar, en combinación con el emisor.



Modelo de relé biestable del tipo de enclavamiento mecánico que puede emplearse para conseguir una actuación permanente del receptor sin necesidad de actuar constantemente el pulsador del emisor.



Conexión de un relé biestable a los terminales de salida del receptor.



Esquema de un aro de Hertz con el que se facilita el ajuste del receptor.

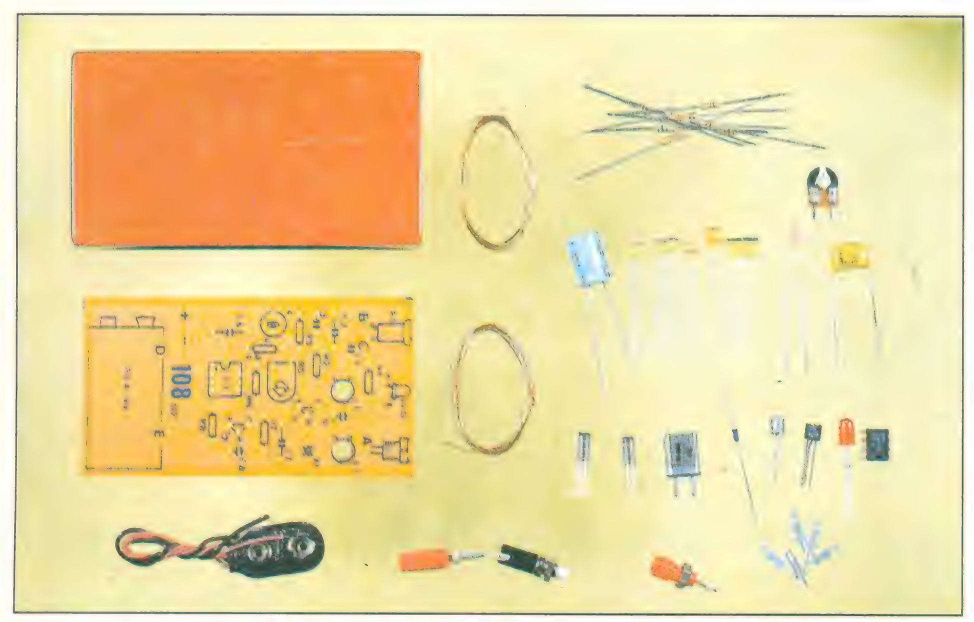
pueda volver el sistema a su estado original. Esta parte del equipo es importante, sobre todo si se instala para controlar la apertura y cierre de una puerta.
El circuito receptor se alimenta de una tensión continua comprendida entre 9 y 12 V, la cual se hace pasar por el circuito integrado CI2, que es un circuito regulador de tensión, estabilizándola a unos 8 V, de los que se toma la tensión necesaria para los circuitos, exceptuando al relé que recibe la alimentación en forma directa.

Montaje

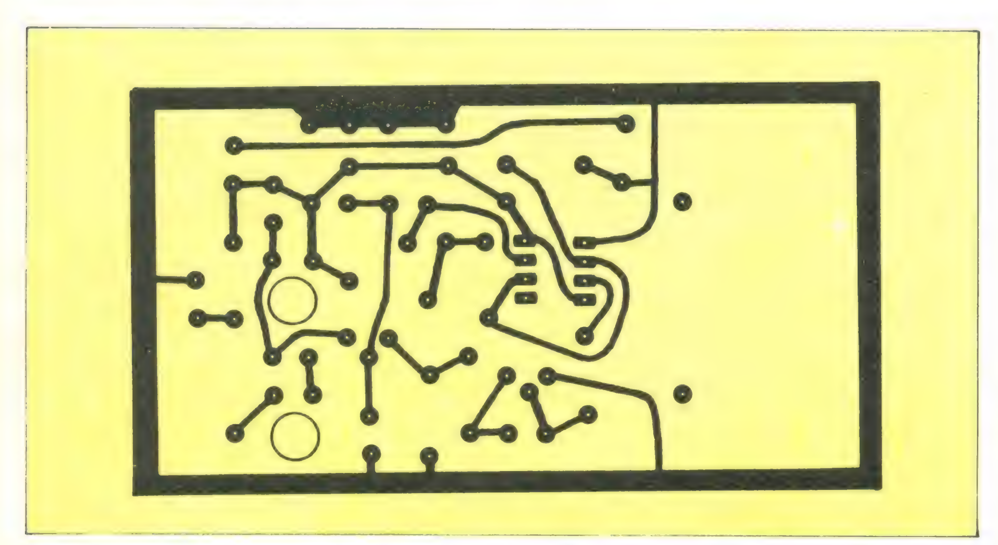
Tanto el circuito impreso del emisor como el del receptor se montarán siguiendo los procedimientos ya conocidos de anteriores equipos. Cabe destacar la construcción de la bobina de la antena emisora, la cual se realizará empleando el hilo desnudo contenido en el kit, arrollando 5 espiras sobre la ferrita en forma helicoidal, estando definida su posición por las señales incluidas en la serigrafía.
Con objeto de conseguir un mejor acabado del circuito emisor, puede adquirirse una caja plástica de las dimensiones adecuadas para poder colocar la placa en su interior, pegándola a la misma. Sobre la tapa se practicará un taladro de 7 milímetros de diámetro para sujetar el pulsador y se dejará el espacio suficiente para incluir una pila de 9 V del tipo normal (6F22).

Ajuste

Una vez que se dispone del emisor completamente acabado es necesario

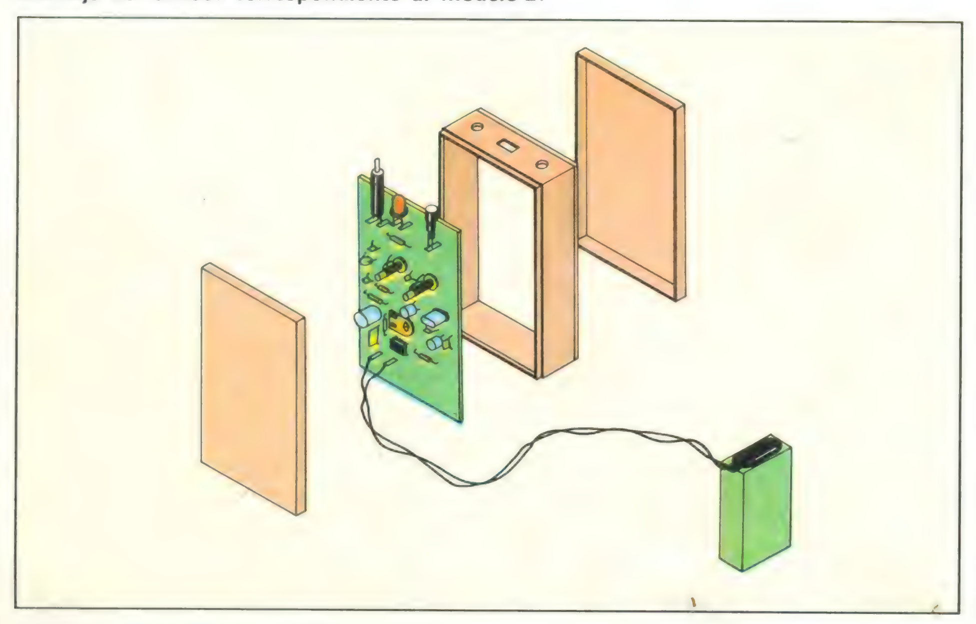


Conjunto de materiales del Emisor (Modelo B).



Circuito impreso del emisor de Telemando (Modelo B). Tamaño real.

Montaje del emisor correspondiente al modelo B.



ajustarle, con objeto de conseguir el máximo nivel de señal emitida. Puede emplearse para ello un aro de Hertz, con un diodo de germanio y un condensador de filtro. De esta forma al aproximar este dispositivo a la antena emisora y oprimir el pulsador se obtendrá una tensión continua entre los extremos de aquél que podrá ser medida con un polímetro. Durante la medida se actuará sobre P1 hasta dejarle en la mitad de su recorrido, aproximadamente, y después sobre C8, hasta obtener la máxima lectura, con lo que quedará finalizado este equipo.

Para realizar el ajuste de este receptor se soldará al espadín de la antena (Y) un trozo de hilo rígido de 1 metro de longitud aproximada; después se aplicará la tensión de alimentación a los terminales + y – y se aplicarán las puntas de un polímetro, preparado para medir tensión alterna, entre los puntos – y TP. Ahora se pondrá en marcha el emisor y se girará el núcleo de ferrita de la bobina H1 hasta obtener la máxima lectura.

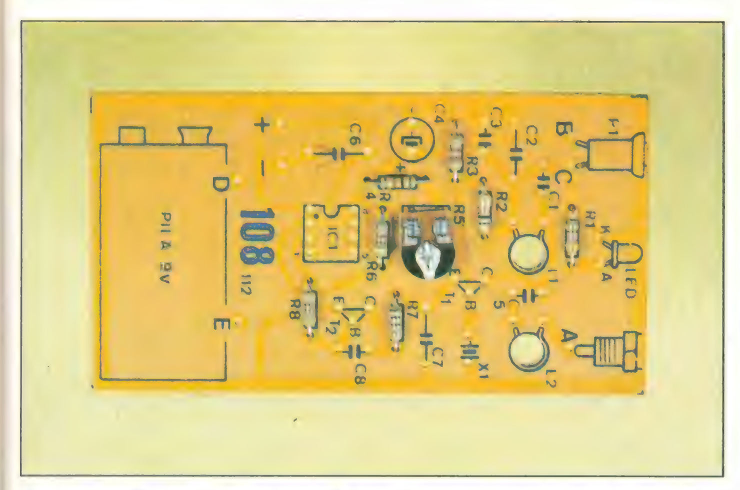
Después y manteniendo el emisor actuado se girará el potenciómetro P1 hasta que el relé actúe, lo que puede ser detectado por el sonido de la conmutación. Deben de localizarse los dos límites de actuación de P1 para situar el cursor aproximadamente en el punto medio entre ellos.

Las salidas del contacto del relé están conectadas a los espadines marcados con R. Se tendrá en cuenta que éste permite una corriente máxima de 2 A a 220 V, es decir, una potencia de 440 W.

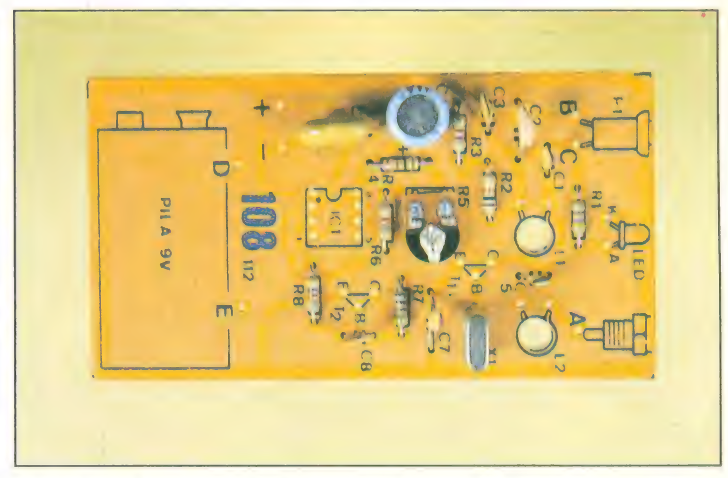
El circuito receptor también puede ser protegido por una caja apropiada, pero en este caso, y debido a que su ubicación será normalmente un lugar fijo y a cubierto de la intemperie, también podrá ser montado tal como está, empleando unos separadores de sujeción en sus vértices.

Modelo B. Emisor

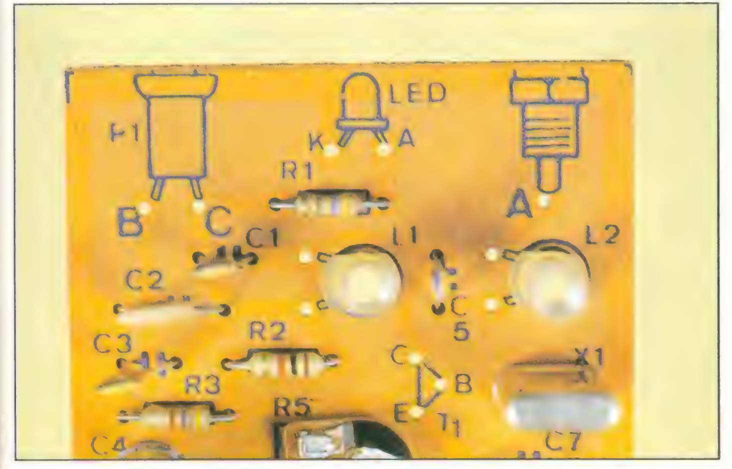
Este emisor para telemando está preparado para trabajar a una frecuencia de 38 MHz, con una modulación de 4.700 Hz. Estos dos parámetros condicionan completamente la fiabilidad y seguridad del equipo, ya que se evita la posibilidad de que puedan existir accionamientos indebidos por frecuencias de otras bandas que sean utilizadas por emisores próximos. Gracias a su reducido tamaño es completamente portátil, alimentándose a partir de una pila de 9 V y con un alcance máximo de 30 metros. Se



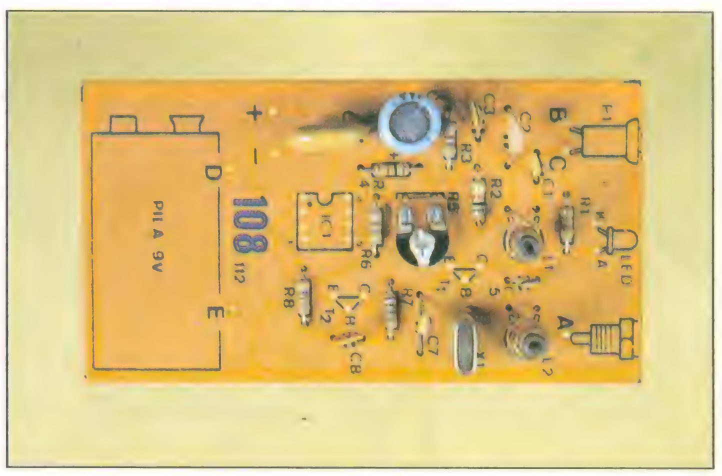
La primera operación de montaje del circuito impreso se destinará a la inserción de las siete resistencias, sobre sus posiciones respectivas, en la forma que se observa. Después se soldarán al circuito y se eliminarán los restos sobrantes de terminales.



En el siguiente paso se instalarán todos los condensadores y el cristal oscilador sobre los lugares que indica la serigrafía y que se observan en la imagen, soldándoles seguidamente. Debe prestarse atención a la polaridad del electrolítico sobre la posición C4.

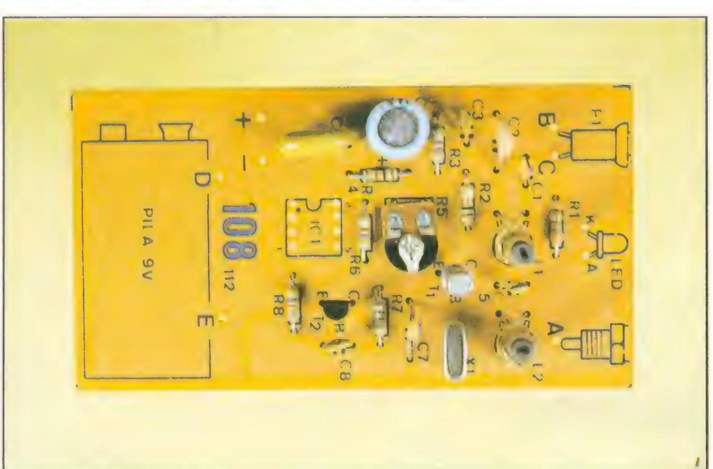


A continuación se comenzará el montaje de las dos bobinas, fijando las dos formitas de plástico, soporte de las mismas, sobre los orificios de la placa indicados con L1 y L2, mediante una ligera presión, quedando con el aspecto que muestra la imagen.

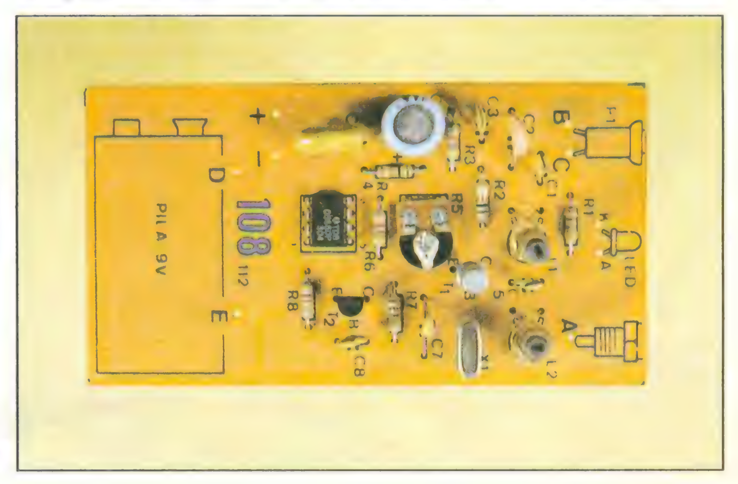


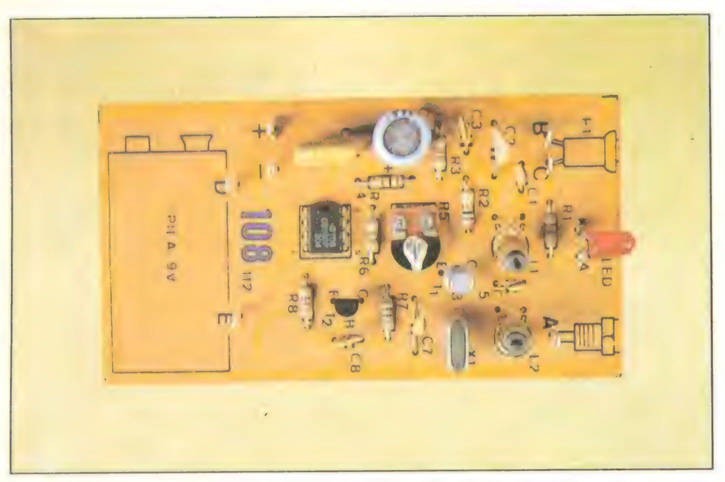
Después se efectuará el devanado de las bobinas con el hilo esmaltado que incluye el kit. Primero se soldará el extremo situado en la zona inferior de la imagen y se bobinarán seis espiras para L1 y 25 para L2 en sentido horario, soldando después el otro extremo y atornillando el núcleo de ferrita.

Seguidamente se procederá al montaje de los dos transistores sobre las posiciones T1 y T2. Dado que sus encapsulados son diferentes no existirá problema de identificación. Su orientación está claramente indicada mediante la serigrafía.

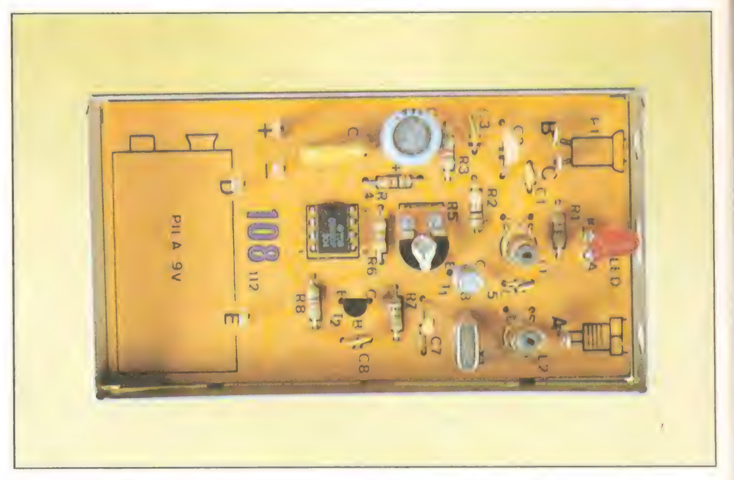


El montaje de los semiconductores se completa con la inserción del circuito integrado sobre la posición IC1, soldando sus patillas directamente a la placa. Para situarle en su posición correcta se hará coincidir la muesca de un extremo con la indicada en la placa.

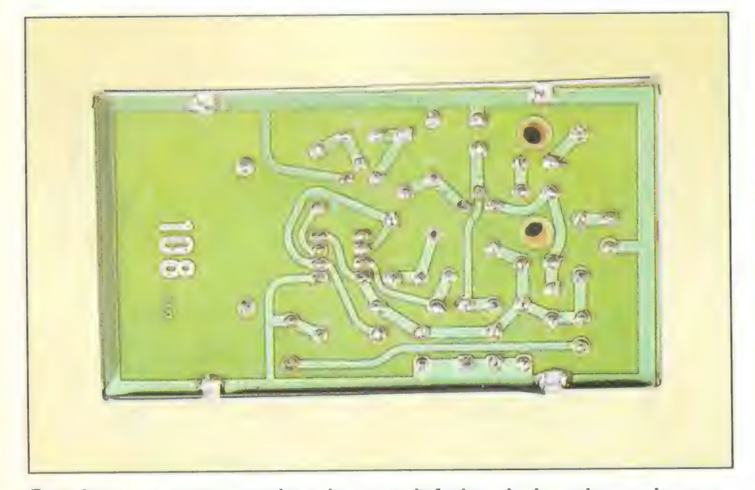




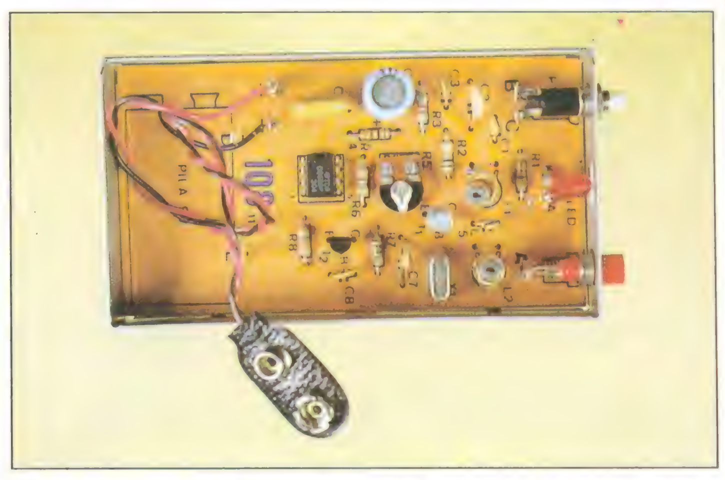
El circuito impreso se completará con la inserción y soldadura de los espadines en los puntos que muestra la imagen y con el montaje del diodo Led en el lugar que se observa. Para ello hay que tener en cuenta que el terminal de cátodo está indicado con un pequeño aplanamiento de la cápsula.



La siguiente operación consistirá en introducir el circuito impreso en la caja metálica, desmontando previamente sus dos tapas. Debe cuidarse que el diodo Led esté perfectamente centrado sobre la ventana central de uno de los lados, según muestra la imagen.

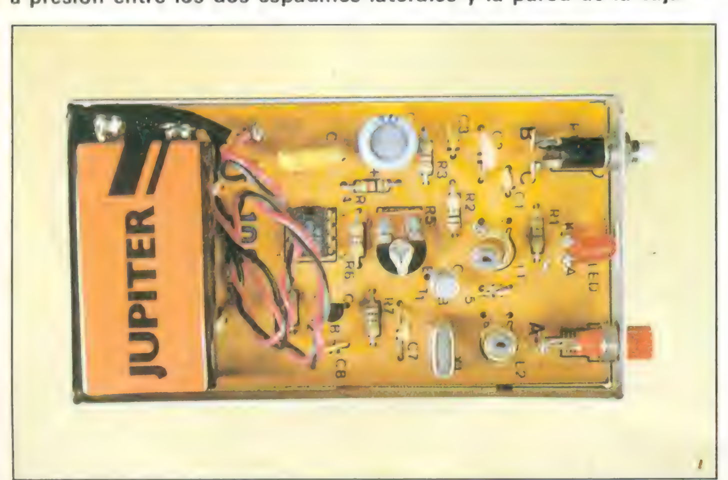


Esta imagen corresponde a la zona inferior de la caja, en la que puede observarse las cuatro patillas sobre las que debe apoyarse el circuito. Estas deberán soldarse al mismo, raspando previamente el barniz aislante que le cubre.

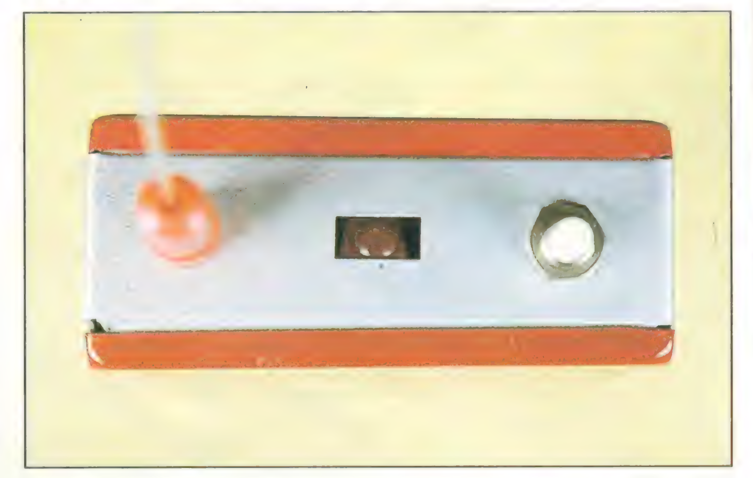


Después se efectuará el montaje del clip para la pila, pulsador y de la hembrilla miniatura para la antena, fijándolas a la caja mediante la tuerca que poseen y soldando directamente sus terminales a los espadines que se encuentran en su proximidad.

Una vez concluido el montaje de la caja se efectuará la conexión de la pila de 9 V, mediante el clip con cablecillos instalado previamente. Esta se alojará en el lugar que muestra la imagen, fijándola a presión entre los dos espadines laterales y la pared de la caja.



Aspecto final del equipo una vez que se han montado las tapas superior e inferior. Puede verse en la imagen que se ha instalado una antena de unos 20 centímetros en su hembrilla correspondiente, mediante la clavija miniatura enchufable.



ha utilizado el kit número 108 de Sales Kit.

La relación de materiales es la siguiente:

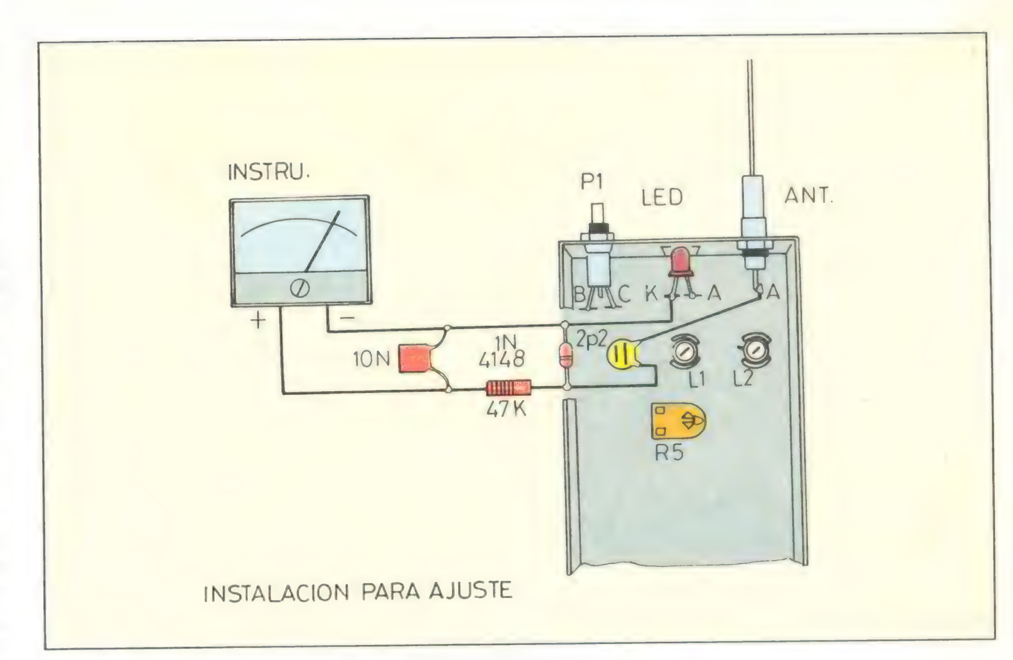
• R1: Resistencia 1/4 W 470 Ω • R2: Resistencia 1/4 W 10 K • R3, R6 y R8: Resistencias 1/4 W 4,7 K • R4: Resistencia 1/4 W 1 K • R5: Resistencia ajustable 10 K • R7: Resistencia 1/4 W 100 Ω • C1 y C7: Condensadores cerámicos 22 pF • C2: Condensador cerámico 22 nF • C3: Condensador cerámico 10 nF • C4: Condensador electrolítico 100 μF/10 V • C5: Condensador cerámico 100 pF • C6: Condensador poliéster 15 nF • C8: Condensador cerámico 470 pF • X1: Cristal 38 MHz • L1: Bobina 6 espiras sobre formita plástica con núcleo de ferrita • Led. Diodo Led rojo • L2: Bobina 25 espiras sobre formita plástica con núcleo de ferrita • T1: Transistor 2N2369 • T2: Transistor BC547 • CI1: Circuito integrado 555 • Circuito impreso de 98 × 54 mm • Clip conexión pila con cablecillos • P1: Pulsador 1 contacto • Hembrilla miniatura de ∅5 mm • Caja metálica de 100 × 55 × 24 mm.

Ajuste

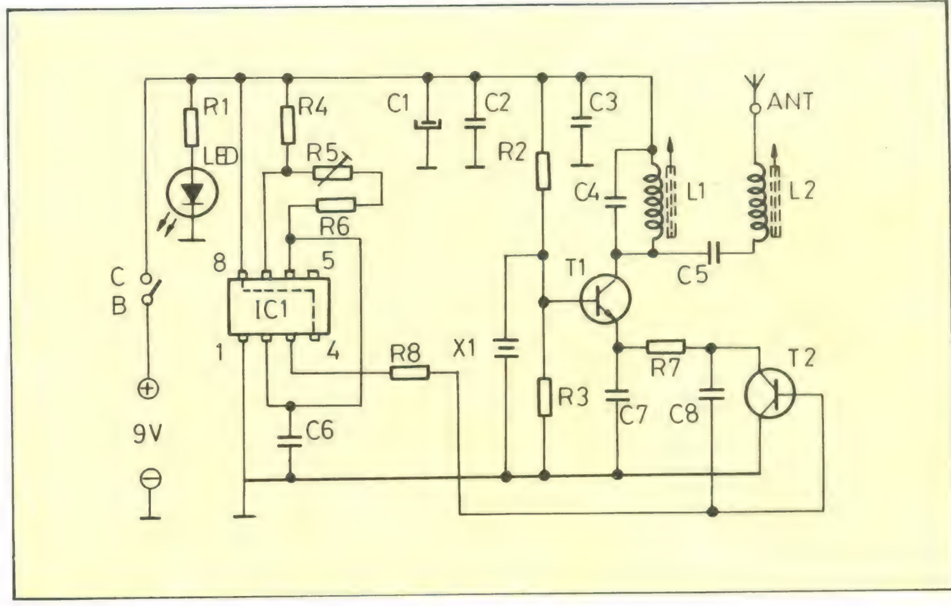
Para efectuarlo debemos conectar la salida de antena a un multímetro en la escala de 10 V C.C., a través de una red detectora y retocar los núcleos de L1 y L2, manteniendo pulsado P1, hasta conseguir la máxima desviación. El cursor de R5 se mantendrá en el centro de su recorrido.

Receptor

El receptor está constituido por cuatro secciones básicas: la primera de ellas es el amplificador de radiofrecuencia, diseñado para trabajar a la frecuencia de la portadora de la señal de mando (38 MHz); después se encuentra una etapa decodificadora de tonos, cuya misión fundamental es detectar la presencia de la moduladora y comprobar si ésta es de la frecuencia adecuada, en cuyo caso producirá la señal de control propiamente dicha; antes de alcanzar la etapa final se encuentra otra, de funcionamiento biestable, que puede conectarse opcionalmente, siendo su función la de producir una orden constante a partir de una pulsación momentánea en el emisor; por último, se encuentra el paso de salida, el cual mediante un relé efectúa la función interruptora deseada. La conexión del sistema es muy simple, ya

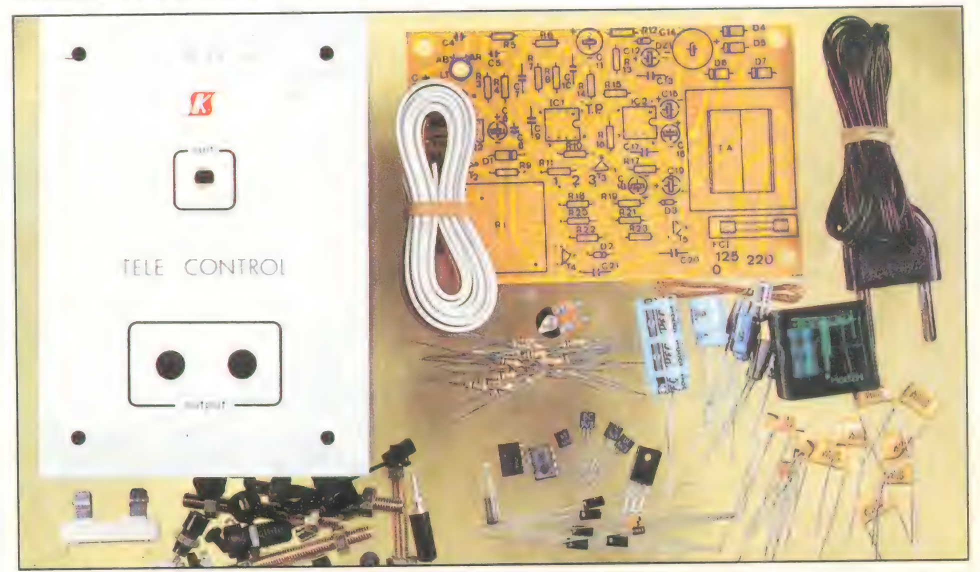


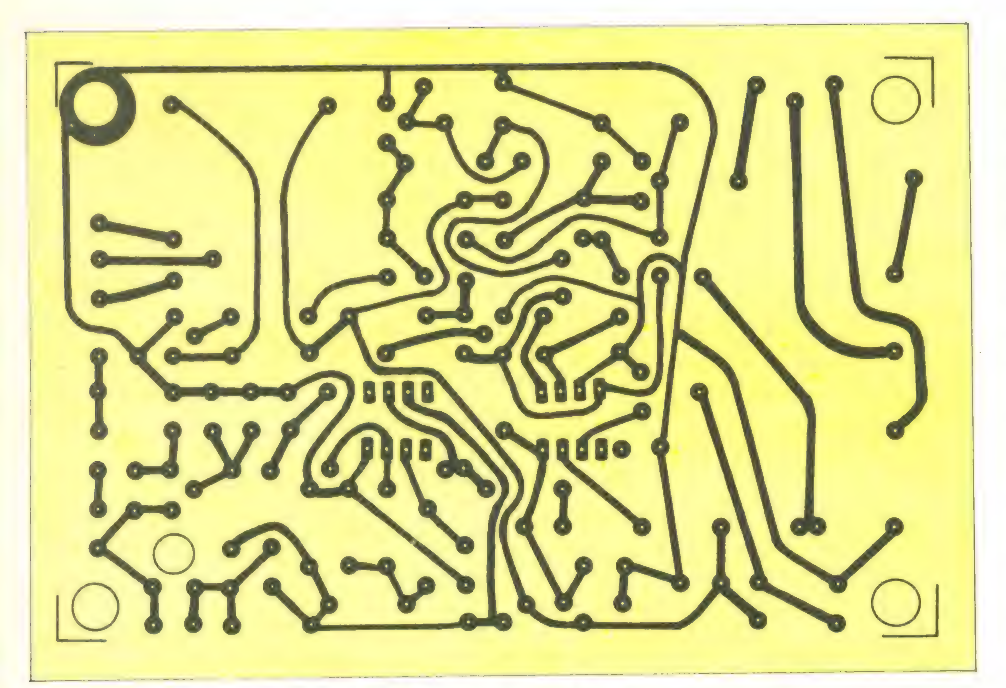
Ajuste del emisor.



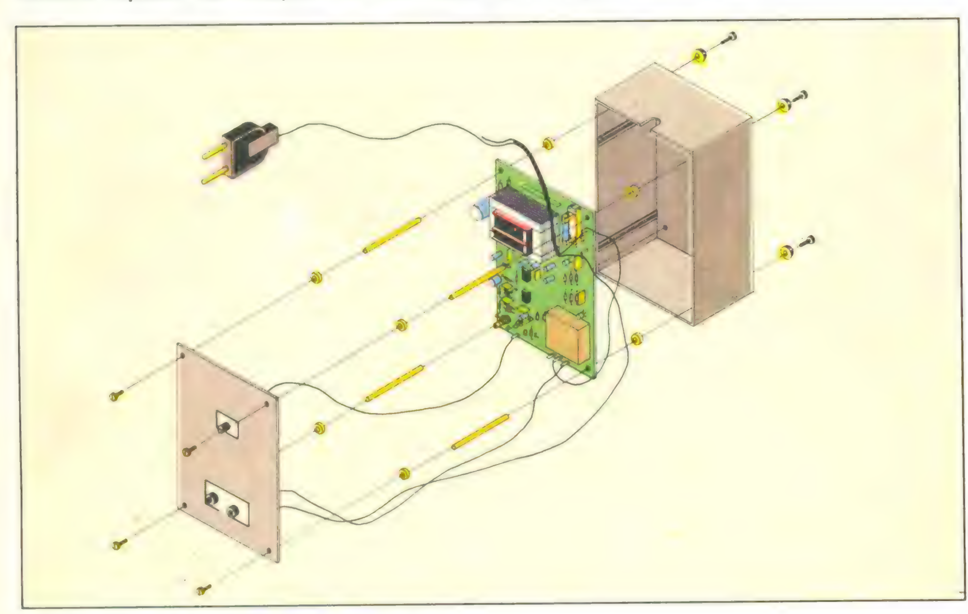
Esquema eléctrico del emisor (modelo B).

Conjunto de materiales del receptor de Telemando (Modelo B).



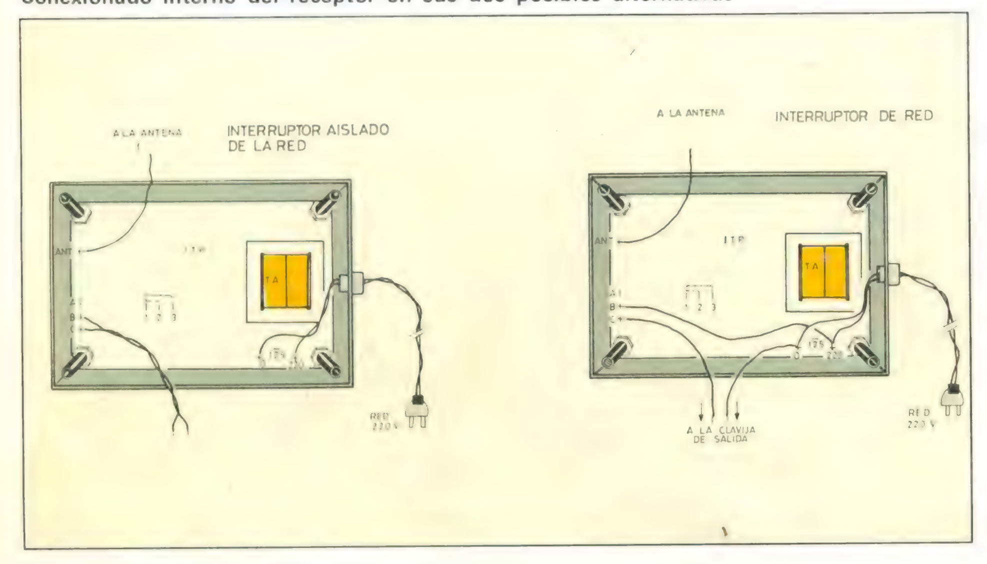


Circuito impreso del receptor de Telemando (Modelo B). Tamaño real.



Montaje del receptor (modelo B).

Conexionado interno del receptor en sus dos posibles alternativas.



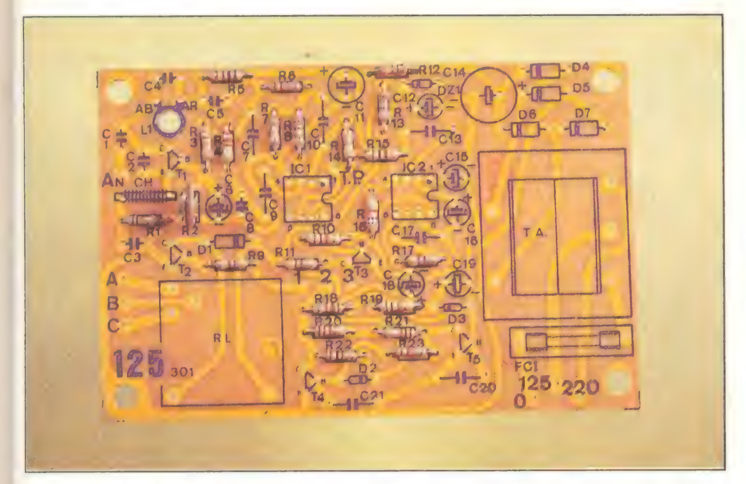
que basta con enchufar el receptor a la red y sobre él conectar el equipo a controlar. La alimentación, por tanto, se toma directamente de la red a través de un transformador adecuado, incluido en el kit. Puede trabajar con tensiones de 125 ó 220 V, con una corriente máxima de conmutación de 4 A. Se ha utilizado el kit número 125 de Sales Kit.

La relación de materiales es la siguiente:

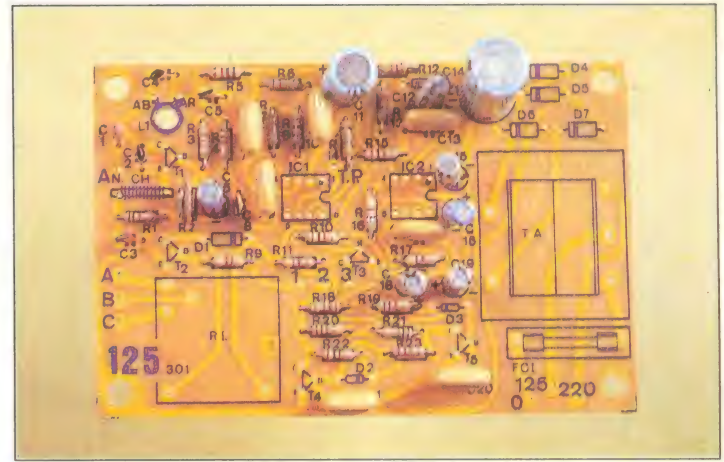
• R1, R20, R21 y R22: Resistencias 1/4 W, 1 K • R2: Resistencia ajustable de 10 K • R4: Resistencia 1/4 W 2,2 K • R5: Resistencia 1/4 W 5,6 K • R6, R7, R18 y R23: Resistencias 1/4 W 22 K • R8: Resistencia 1/4 W 100 K • R9, R11 y R17: Resistencias 1/4 W 4,7 K • R10, R15, R16 y R19: Resistencias 1/4 W 10 K • R12: Resistencia: 1/4 W 470 Ω • R13: Resistencia 1/4 W 220 Ω • R14: Resistencia 1/4 W 470 K • C1: Condensador cerámico 2,2 pF • C2 y C4: Condensadores cerámicos 22 pF • C3: Condensador cerámico 2,2 nF • C5 y C8: Condensadores cerámicos 4,7 nF • C6 y C16: Condensadores electrolíticos 1 µF/16 V • C7, C10, C20 y C21: Condensadores poliéster: 100 nF • C9, C13 y C17: Condensadores poliéster 47 nF • C11: Condensador electrolítico 100 µF/16 V • C12, C15, C18 y C19: Condensadores electrolíticos 10 µF/16 V • C14: Condensador electrolítico 1.000 µF/16 V • CH: Choque 18 espiras sobre núcleo de ferrita • L1: Bobina 9 espiras sobre formita plástica con núcleo de ferrita • D1, D4 a D7: Diodos 1N4004 • D2 y D3: Diodos 1N4148 • DZ1: Diodo Zener BZX85C5V6 • T1, T3, T4 y T5: Transistores BC547 • T2: Transistor MC140 • CI1: Circuito integrado 741 • CI2: Circuito integrado 567 • RL: Relé Ralux 12 V mod. ZH • TA: Transformador 125, 220/9 V, preparado para C. impreso • Portafusibles tipo pinza • Fusible 1A • Circuito impreso de 115 × 78 mm • Caja de plástico de 123 × 85 × 49 mm • Placa frontal mecanizada y serigrafiada • 2 hembrillas de ∅ 7 mm (red) • 1 hembrilla de ∅ 5 mm (antena) • 4 separadores especiales de 47 mm con roscado interno M3 y externo M5 • 8 tornillos M3 × 6 • 8 tuercas M5 • 4 patas de plástico • Pasacables • Cable de red con clavija.

Ajuste

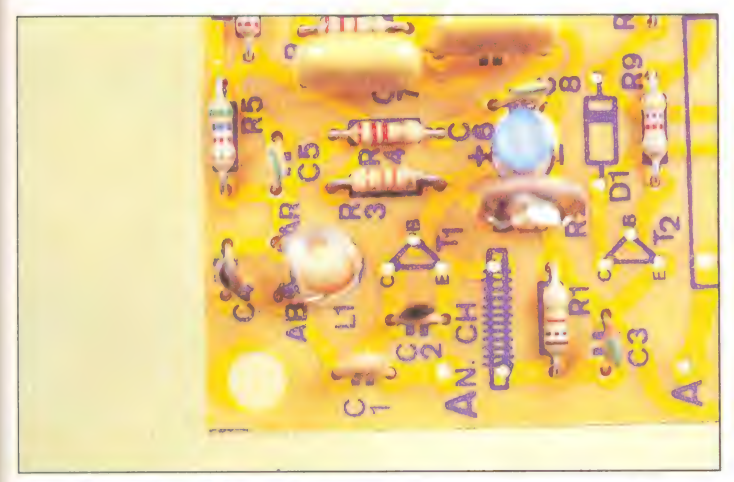
Para efectuar el ajuste se debe conectar un amplificador de BF entre TP y masa. Retocar R2 hasta oír un soplido



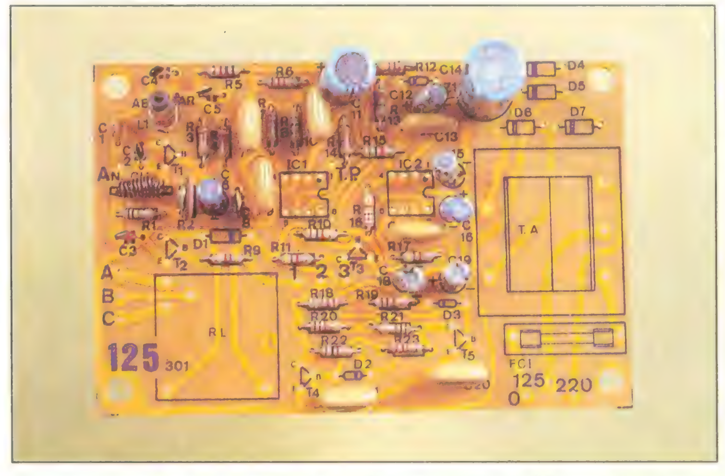
Después de identificar todos los materiales tomando como referencia la relación de componentes, se iniciará el montaje insertando y soldando las resistencias en los lugares indicados por la serigrafía y cortando los terminales sobrantes.



Con el conjunto de condensadores se procederá de una manera análoga a la indicada en el paso anterior. Unicamente se precisará tener precaución con la polaridad de los electrolíticos para evitar montarles invertidos.

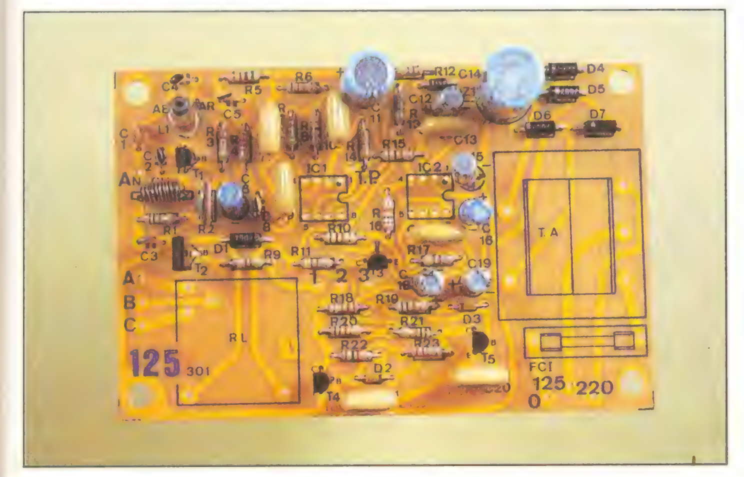


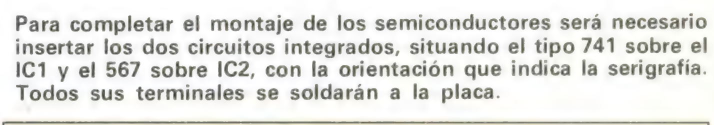
Seguidamente se efectuará la construcción y montaje de la bobina sobre la posición L1. Para ello se insertará a presión la formita soporte en la placa, soldando un extremo del hilo esmaltado en AB y bobinando nueve espiras. Después se soldará el otro extremo en AR.



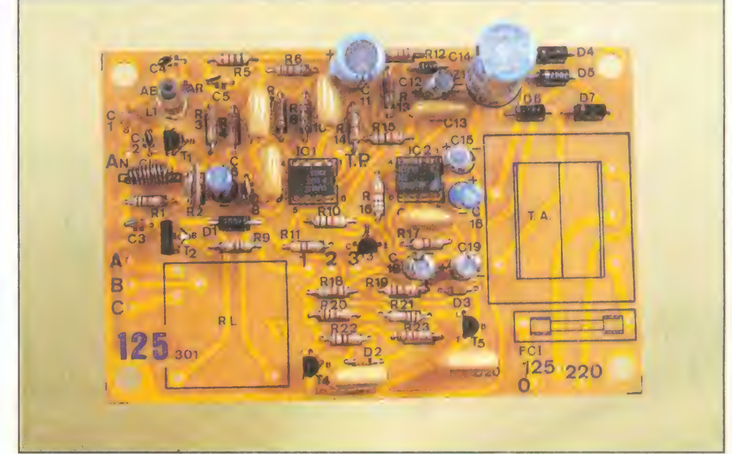
Una vez que se ha completado el devanado de L1 será necesario montarle el núcleo de ferrita, a rosca en el interior de la formita plástica soporte. También se insertará la bobina recta sobre la posición CH soldando sus dos extremos al circuito impreso.

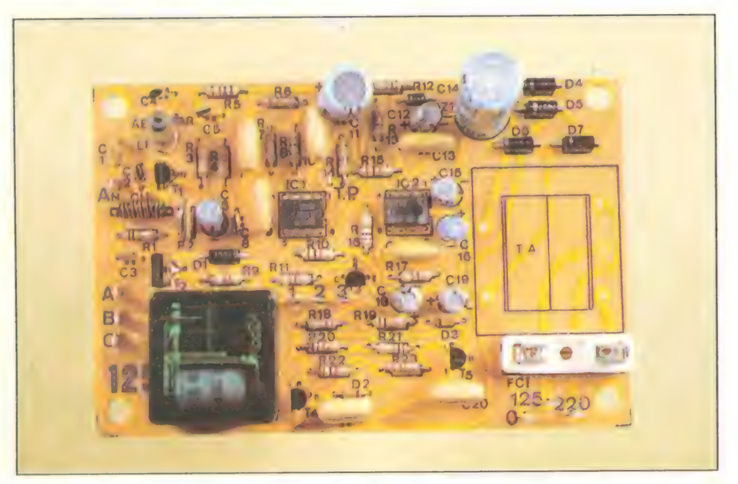
La siguiente operación se destinará a montar los siete diodos, el diodo zener y los cinco transistores sobre el circuito. Puede verse que D2 y D3 son los de menor tamaño, así como el zener DZ1. Todos los transistores son del mismo tipo, salvo T2, que es de mayor tamaño.



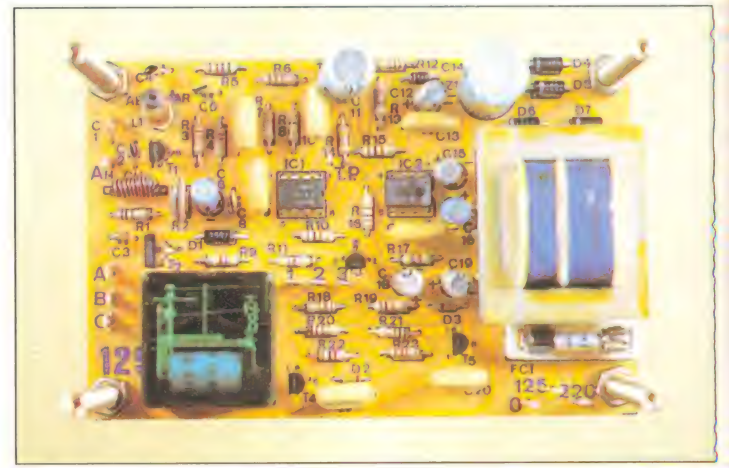


Para completar el montaje de los semiconductores será necesario insertar los dos circuitos integrados, situando el tipo 741 sobre el IC1 y el 567 sobre IC2, con la orientación que indica la serigrafía. Todos sus terminales se soldarán a la placa.

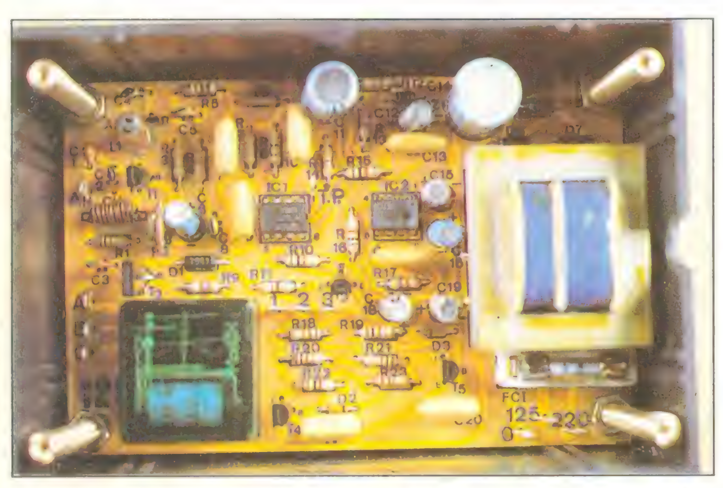




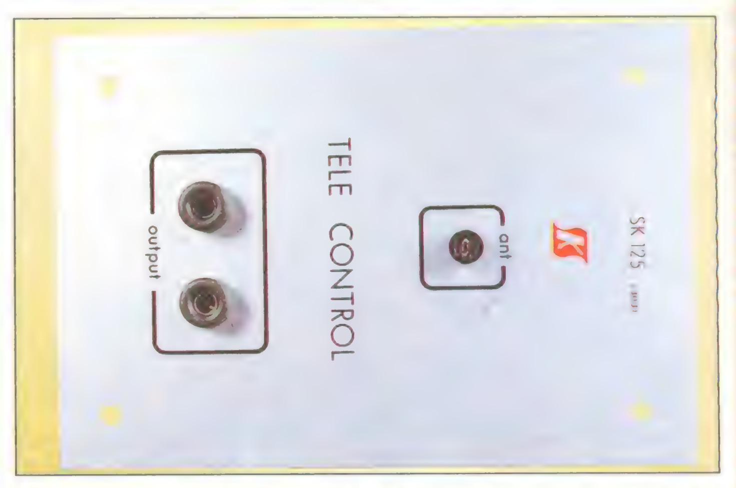
En el siguiente paso se insertará el relé interruptor sobre la posición RL. Después se montarán la pinza portafusibles y todos los terminales de espadín encargados de la interconexión, soldando todos estos elementos a la placa.



Para completar el circuito se montará el transformador de alimentación en el lugar que muestra la imagen, soldándole directamente a la placa. También se colocará el fusible en su lugar y se fijarán los cuatro separadores en los vértices.

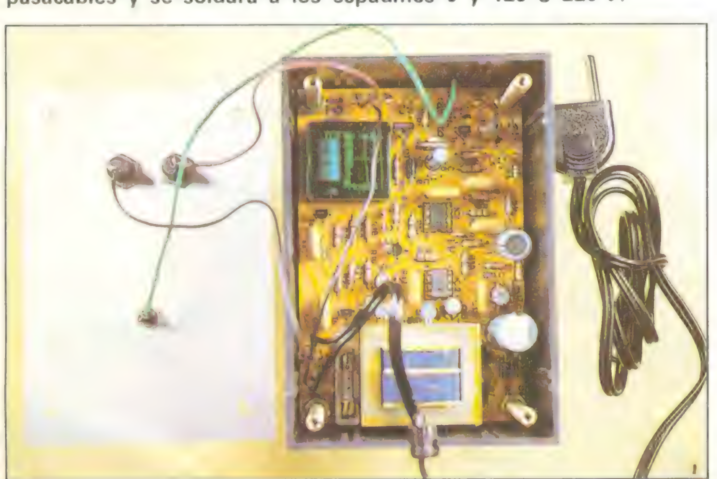


La operación siguiente se destinará a introducir en el interior de la caja de plástico el conjunto anterior, fijándole a la base con cuatro tornillos que roscarán sobre los separadores y que se emplearán para fijar las patas.



Después se tomará la tapa de la caja y se montarán sobre ella las dos hembrillas de mayor tamaño en los orificios con la indicación OUTPUT y la restante, de tipo miniatura, sobre el taladro de antena. Todas ellas se fijarán con sus propias tuercas.

La fase siguiente corresponde al cableado entre los elementos de la tapa y los terminales del circuito, incluyendo el cable de conexión a la red, que se fijará a una pared de la caja mediante un pasacables y se soldará a los espadines 0 y 125 ó 220 V.



Las últimas operaciones del montaje se destinarán a fijar la tapa sobre la caja, empleando cuatro tornillos pavonados roscados sobre los separadores internos y a instalar una sección de hilo rígido de unos 20 centímetros de longitud sobre la hembrilla de antena.



interno. Poner en marcha el emisor a 1 metro y retocar L1 hasta oír una nota aguda. Situar un multímetro en el espadín 3 (escala 12 Vcc) y accionar el pulsador del emisor, ajustando la R5 de éste hasta que la lectura sea de 11,5 V aproximadamente.

Posibles mejoras

Igual que existe la posibilidad de gobernar un solo equipo receptor de telemando con varios emisores, como el aquí presentado, con la condición de que todos ellos trabajen con la misma frecuencia de modulación de la portadora, también pueden gobernarse varios receptores desde un único transmisor (o varios de ellos) si cada uno de aquéllos está preparado para accionarse con una frecuencia de modulación distinta.

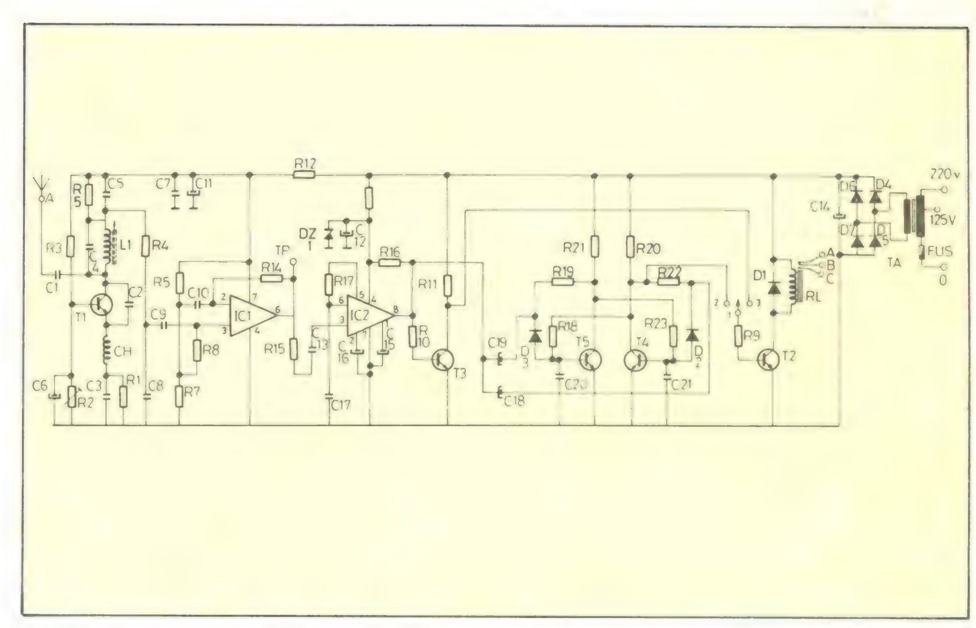
N.° canales	Frecuencias (kHz)
2	3,2 - 9,2
3	3,2 - 5,4 - 9,2
4	3,2 - 4,5 - 6,5 - 9,2
5	3,2 - 4,2 - 5,4 - 7,0 - 9,2

Tabla 1

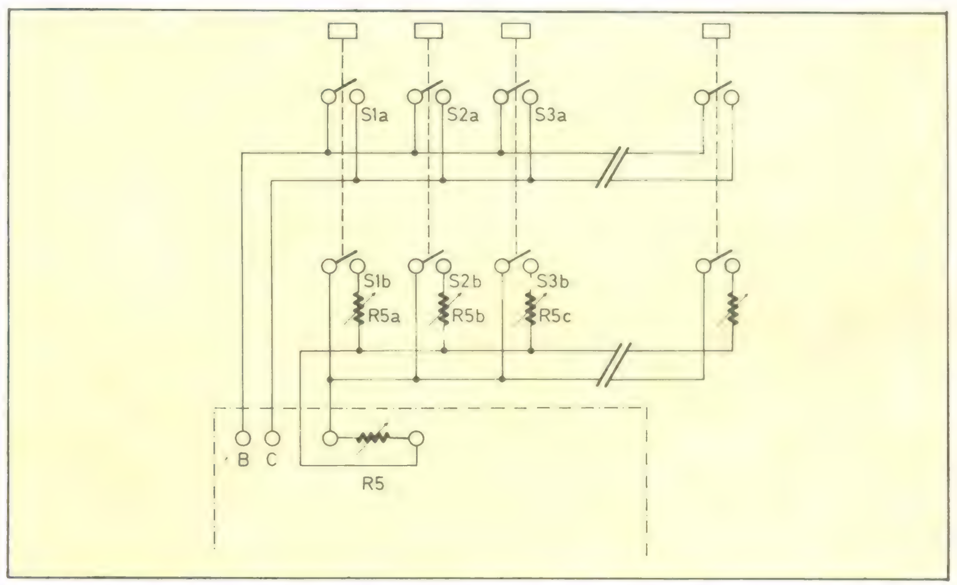
N.° canales	Frecuencias (kHz)
5	1,8 - 2,7 - 4,1 - 6,1 - 9,2
6	1,8 - 2,5 - 3,5 - 4,8,- 6,6 - 9,2
7	1,8 - 2,4 - 3,1 - 4,1 - 5,3 - 7,0 - 9,2

Tabla 2.

En el equipo transmisor la frecuencia de modulación viene determinada por los componentes R4, R5, R6 y C6. De todos ellos, el más fácil de variar es R5, que es una resistencia ajustable. Con ella puede elegirse la frecuencia de modulación entre 3,2 y 9,2 KHz, aproximadamente.
Puede sustituirse la resistencia original R5 por un conjunto de varias resistencias ajustables y otros tantos pulsadores. Las frecuencias de modulación deben estar razonablemente separadas, y deben elegirse de entre las mostradas en la tabla 1. Si va a necesitarse un mayor número de canales independientes (frecuencias de modulación), las resistencias R5a, R5b, ... deben ser de 22 kΩ, y las frecuencias de modulación se elegirán de la tabla 2. El equipo receptor deberá retocarse para conseguir que se accione con las frecuencias de modulación aquí mencionadas.

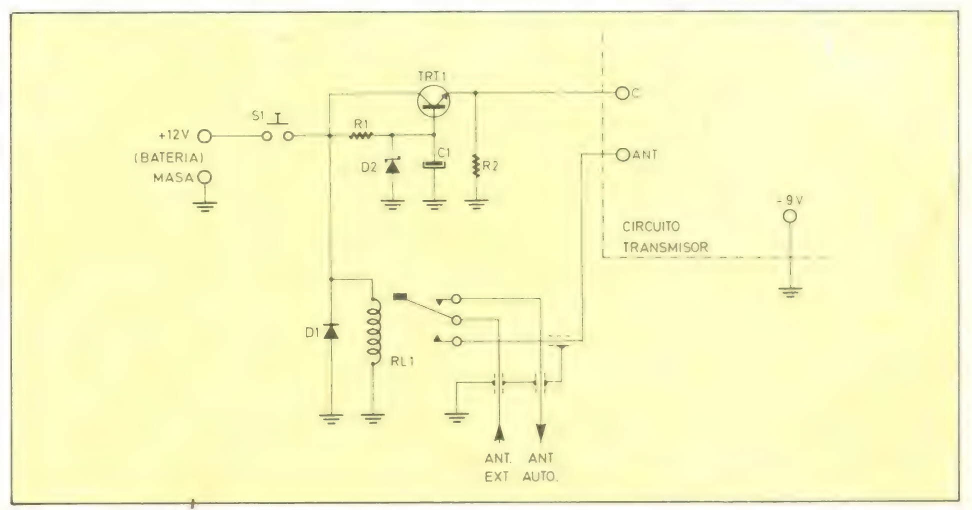


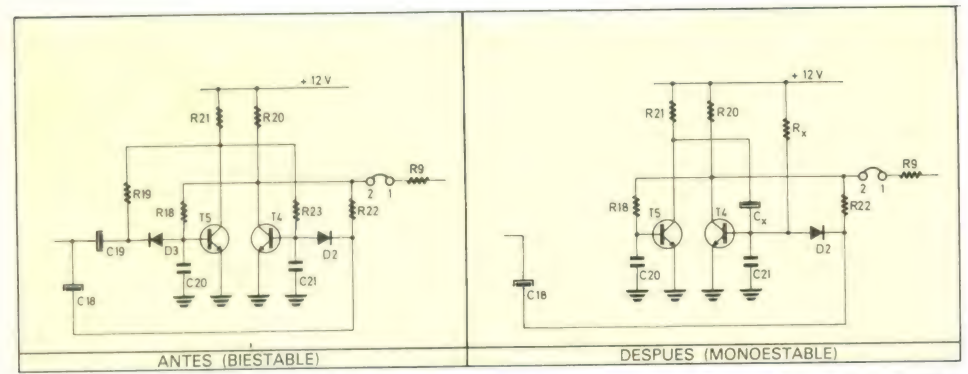
Esquema eléctrico del receptor correspondiente al modelo B.



Modificación para variar la frecuencia de modulación R5a = R5b = R5c = ... = 10 kΩ, ajustable (ver texto). S1a – S1b = S2a – S2b = ... = pulsadores 2 cir. independientes.

Circuito para conmutar la antena del automóvil para autorradio o telemando RL1 = Relé de R. F. Bobina 12 V. D1 = 1N4001. D2 = BZX46/C10. TRT1 = BD135/MC140. S1 = Pulsador unipolar. C1 = 47 μF/15 V, electrolítico. R1 = 220 Ω. R2 = 10 kΩ.





Transformación del biestable del receptor a un circuito monoestable C_x = 100 µF/16 V, electrolítico. R_x = ver texto.

Instalación y recomendaciones

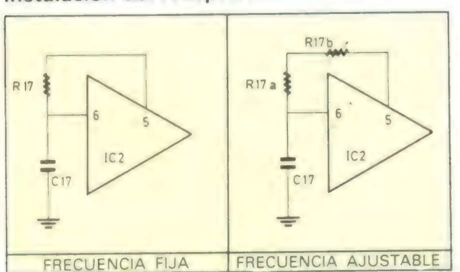
Cuando el transmisor de telemando vaya a instalarse sobre un automóvil para, por ejemplo, abrir a distancia la puerta del garaje o la valla de la finca, es conveniente tomar la tensión de alimentación para aquél de la misma batería del automóvil. Para ello se necesita un pequeño adaptador que rebaje la tensión de la batería (12-14 V) a los 9 V necesarios.

Además, si el automóvil dispone de antena exterior para el autorradio, puede aprovecharse para que actúe como antena transmisora. Para este cometido *no* valdrán las antenas denominadas «electrónicas» (que incorporan un pequeño amplificador de señal). *Sí* valen, en cambio, las de varilla normal (sobre carrocería o techo), incluso las de subida/bajada automática o manual accionadas por un motor eléctrico.

Para hacer tal uso de la antena, de forma que sea compatible con su utilización normal, es preciso incluir en su recorrido un relé que conmute su conexionado, de tal manera que vaya al autorradio, o al transmisor de telemando.

El relé empleado debe ser de gran calidad, preferentemente del tipo de radiofrecuencia, con lo que se conseguirá una óptima recepción de las señales de radiodifusión (autorradio) y una buena transmisión del telemando. Cuando se acciona el pulsador S1 de la figura se obtiene, al mismo tiempo, la alimentación del transmisor y la conmutación del circuito de antena. Mientras S1 esté pulsado, el autorradio no recibirá señal alguna de la antena, cortándose temporalmente toda recepción de emisoras de radiodifusión.

Instalación del receptor.



Modificación para variar la frecuencia de modulación R17a = 1,8 kΩ. R17b = 22 kΩ, ajustable.

Variaciones en el receptor

El circuito integrado denominado CI2 en el receptor de telemando está montado como un filtro selector de frecuencias. Cuando la frecuencia con que se moduló la portadora en el transmisor coincide con aquélla a la que está ajustado dicho integrado, su salida adquiere una tensión próxima a la de masa.

La frecuencia que provoca que la salida de CI2 vaya a cero puede seleccionarse con los valores dados a R17 y C17. Así, si se van a montar distintos receptores, de manera que cada uno de ellos responda a una frecuencia de modulación distinta, bastará con elegir los valores adecuados de la resistencia y el condensador de cada receptor. Manteniendo el valor de C17 (47 nF) y sustituyendo R17 por un conjunto de una resistencia variable de 22 kΩ en serie con otra fija de 1,8 kΩ puede variarse la frecuencia de modulación que sensibilizará a CI2 entre 0,9 y 11,8 KHz, aproximadamente, margen suficientemente amplio como para poder incluir los canales sugeridos en la parte transmisora.

La conexión con el aparato gobernado se hará normalmente a través de los terminales de salida del relé marcados como B y C, que permanecen en contacto cuando el relé está actuado. En cuanto a la antena, será suficiente con emplear un hilo rígido de unos 20-30 centímetros de longitud conectado al terminal correspondiente. No hay objeción alguna en emplear una antena de tipo telescópico, cuya longitud máxima se determinará con varias pruebas.

Por otra parte, el receptor de telemando incorpora un circuito biestable formado por los transistores T4, T5 y los componentes asociados. Cuando se conecta un puente entre los terminales marcados 1 y 2, tal biestable entra en funcionamiento, de forma que si se pulsa el botón del transmisor, el relé del receptor queda enclavado. La siguiente vez que se pulsa el transmisor, el biestable cambia de estado, y el relé se desenclava. Esta sucesión se repite cada vez que se pulsa el mando del transmisor.

Si el puente se hace entre los terminales 1 y 3, el relé queda enclavado sólo mientras que permanezca pulsado el mando correspondiente en el transmisor. Hay aplicaciones en las que ninguna de las dos posibilidades llegan a satisfacer por completo las necesidades de conmutación en el lado receptor, como, por ejemplo, cuando se requiere que el relé permanezca conectado un tiempo fijo, para luego desenclavarse él solo.

Esta última posibilidad se obtiene convirtiendo el biestable mencionado en un monoestable, que mantendrá enclavado el relé durante un tiempo que puede fijarse dentro de amplios márgenes, y que es independiente del tiempo que se tenga pulsado el mando del transmisor. Para la modificación deben retirarse de su lugar en la placa impresa los componentes marcados como C19, D3, R19 y R23. En el espacio dejado por R23 se pondrá un condensador electrolítico de 100 µF/16 V, con el positivo conectado al colector de T5. Adicionalmente, entre el negativo de este condensador y la línea de alimentación positiva, se conectará una resistencia (R_x) de cuyo valor dependerá el tiempo que el relé quede enclavado. Dicho tiempo es, en segundos, de 50 a 60 veces el valor de R_x expresado en megohmios. Esto es, para una resistencia R_x = 100 kΩ = 0,1 MΩ, el tiempo de enclavamiento está comprendido entre cinco y seis segundos. El tiempo exacto viene determinado por las características del transistor T4, y puesto que existe una amplia dispersión de las mismas, no puede fijarse con mayor exactitud.

COMUNICACIÓN POR SATÉLITES

INTRODUCCIÓN

A principios de 1960, la American Telephone and Telegraph Company (AT&T) publicó estudios, indicando que unos cuantos satélites poderosos, de diseño avanzado, podian soportar mas tráfico que toda la red AT&T de larga distancia. El costo de estos satélites fue estimado en solo una fracción del costo de las facilidades de microondas terrestres equivalentes. Desafortunadamente, debido a que AT&T era un proveedor de servicios, los reglamentos del gobierno le impedían desarrollar los sistemas de satélites. Corporaciones más pequeñas y menos lucrativas pudieron desarrollar los sistemas de satélites y AT&T continuó invirtiendo billones de dólares cada año en los sistemas de microondas terrestres convencionales. Debido a esto los desarrollos iniciales en la tecnología de satélites tardaron en surgir.

A través de los años, los precios de la mayoría de los bienes y servicios han aumentado sustancialmente; sin embargo, los servicios de comunicación, por satélite, se han vuelto mas accesibles cada año. En la mayoría de los casos, los sistemas de satélites ofrecen mas flexibilidad que los cables submarinos, cables subterráneos escondidos, radio de microondas en línea de vista, radio de dispersión troposférica, o sistemas de fibra óptica.

Esencialmente, un satélite es un repetidor de radio en el cielo (transponder). Un sistema de satélite consiste de un transponder, una estación basada en tierra, para controlar el funcionamiento y una red de usuario, de las estaciones terrestres, que proporciona las facilidades para transmisión y recepción de tráfico de comunicaciones, a través del sistema de satélite. Las transmisiones de satélites se catalogan como bus o carga útil. La de bus incluye mecanismos de control que apoyan la operación de carga útil. La de carga útil es la información del usuario que será transportada a través del sistema. Aunque en los últimos años los nuevos servicios de datos y radioemisión de televisión son mas y más demandados, la transmisión de las señales de teléfono de voz convencional (en forma analógica o digital).

SATÉLITES ORBITALES

Los satélites mencionados, hasta el momento, son llamados satélites orbitales o no síncronos. Los satélites no síncronos giran alrededor de la Tierra en un patrón elíptico o circular de baja altitud. Si el satélite esta girando en la misma dirección de la rotación de la Tierra y a una velocidad angular superior que la de la Tierra, la órbita se llama órbita progrado. Si el satélite esta girando en la dirección opuesta a la rotación de la Tierra o en la misma dirección, pero a una velocidad angular menor a la de la Tierra, la órbita se llama órbita retrograda. Consecuentemente, los satélites no síncronos están alejándose continuamente o cayendo a Tierra, y no permanecen estacionarios en relación a ningún punto

particular de la Tierra. Por lo tanto los satélites no síncronos se tienen que usar cuando están disponibles, lo cual puede ser un corto periodo de tiempo, como 15 minutos por órbita. Otra desventaja de los satélites orbitales es la necesidad de usar un equipo costoso y complicado para rastreo en las estaciones terrestres. Cada estación terrestre debe localizar el satélite conforme esta disponible en cada órbita, y después unir su antena al satélite y localizarlo cuando pasa por arriba. Una gran ventaja de los satélites orbitales es que los motores de propulsión no se requieren a bordo de los satélites para mantenerlos en sus órbitas respectivas.

SATÉLITES GEOESTACIONARIOS

Los satélites geoestacionarios o geosíncronos son satélites que giran en un patrón circular, con una velocidad angular igual a la de la Tierra. Consecuentemente permanecen en una posición fija con respecto a un punto específico en la Tierra. Una ventaja obvia es que están disponibles para todas las estaciones de la Tierra, dentro de su sombra, 100% de las veces. La sombra de un satélite incluye todas las estaciones de la Tierra que tienen un camino visible a él y están dentro del patrón de radiación de las antenas del satélite. Una desventaja obvia es que a bordo, se requieren de dispositivos de propulsión sofisticados y pesados para mantenerlos fijos en una órbita. El tiempo de órbita de un satélite geosíncrono es de 24 h. igual que la Tierra.

CLASIFICACIONES ORBITALES, ESPACIAMIENTO

Y ASIGNACIONES DE FRECUENCIA

Hay dos clasificaciones principales para los satélites de comunicaciones: hiladores (spinners) y satélites estabilizadores de tres ejes. Los satélites espinar, utilizan el movimiento angular de su cuerpo giratorio para proporcionar una estabilidad de giro. Con un estabilizador de tres ejes, el cuerpo permanece fijo en relación a la superficie de la Tierra, mientras que el subsistema interno proporciona una estabilización de giro.

Los satélites geosíncronos deben compartir espacio y espectro de frecuencia limitados, dentro de un arco específico, en una órbita geoestacionaria, aproximadamente a 22,300 millas, arriba del Ecuador. La posición en la ranura depende de la banda de frecuencia de comunicación utilizada. Los satélites trabajando, casi o en la misma frecuencia, deben estar lo suficientemente separados en el espacio para evitar interferir uno con otro. Hay un límite realista del número de estructuras satelitales que pueden estar estacionadas, en un área específica en el espacio. La separación espacial requerida depende de las siguientes variables:

- Ancho del haz y radiación del lóbulo lateral de la estación terrena y antenas del satélite.
- Frecuencia de la portadora de RF.
- Técnica de codificación o de modulación usada.
- Límites aceptables de interferencia.
- Potencia de la portadora de transmisión.

Generalmente, se requieren de 3 a 6º de separación espacial dependiendo de las variables establecidas anteriormente.

Las frecuencias de la portadora, más comunes, usadas para las comunicaciones por satélite, son las bandas 6/4 y 14/12 GHz. El primer número es la frecuencia de subida (ascendente) (estación terrena a transponder) y el segundo numero es la frecuencia de bajada (descendente) (transponder a estación terrena). Diferentes frecuencias de subida y de bajada se usan para prevenir que ocurra repetición. Entre mas alta sea la frecuencia de la portadora, más pequeño es el diámetro requerido de la antena para una ganancia específica. La mayoría de los satélites domésticos utilizan la banda 6/4 GHz. Desafortunadamente, esta banda también se usa extensamente para los sistemas de microondas terrestres. Se debe tener cuidado cuando se diseña una red satelital para evitar interferncia de, o interferencia con enlaces de microondas establecidas.

MODELOS DE ENLACE DEL SISTEMA SATELITAL

Esencialmente, un sistema satelital consiste de tres secciones básicas: una subida, un transponder satelital y una bajada.

Modelo de subida

El principal componente dentro de la sección de subida satelital, es el transmisor de estación terrena. Un típico transmisor de la estación terrena consiste de un modulador de IF, un convertidor de microondas de IF a RF, un amplificador de alta potencia (HPA) y algún medio para limitar la banda del último espectro de salida (por ejemplo, un filtro pasa-bandas de salida). El modulador de IF se convierte la IF convierte las señales de banda base de entrada a una frecuencia intermedia modulada en FM, en PSK o en QAM. El convertidor (mezclador y filtro pasa-bandas) convierte la IF a una frecuencia de portadora de RF apropiada. El HPA proporciona una sensibilidad de entrada adecuada y potencia de salida para propagar la señal al transponder del satélite. Los HPA comúnmente usados son klystons y tubos de onda progresiva.

Transponder

Un típico transponder satelital consta de un dispositivo para limitar la banda de entrada (BPF), un amplificador de bajo ruido de entrada (LNA), un traslador de frecuencias, un amplificador de potencia de bajo nivel y un filtro pasa-bandas de salida. Este transponder es un repetidor de RF a RF. Otras configuraciones de transponder son los repetidores de IF, y de banda base, semejantes a los que se usan en los repetidores de microondas.

Modelo de bajada

Un receptor de estación terrena incluye un BPF de entrada, un LNA y un convertidor de RF a IF. Nuevamente, el BPF limita la potencia del ruido de entrada al LNA. El LNA es un dispositivo altamente sensible, con poco ruido, tal como un amplificador de diodo túnel o un amplificador paramétrico. El conver-

tidor de RF a IF es una combinación de filtro mezclador /pasa-bandas que convierte la señal de RF recibida a una frecuencia de IF.

Enlaces cruzados

Ocasionalmente, hay aplicaciones en donde es necesario comunicarse entre satélites. Esto se realiza usando enlaces cruzados entre satélites o enlaces intersatelitales (ISL). Una desventaja de usar un ISL es que el transmisor y receptor son enviados ambos al espacio. Consecuentemente la potencia de salida del transmisor y la sensibilidad de entrada del receptor se limitan.

Dispositivos de microondas

La ingeniería de microondas/milimétricas tiene que ver con todos aquellos dispositivos, componentes y sistemas que trabajen en el rango frecuencial de 300 MHz a 300 GHz. Debido a tan amplio margen de frecuencias, tales componentes encuentran aplicación en diversos sistemas de comunicación. Ejemplo típico es un enlace de Radiocomunicaciones terrestre a 6 GHz en el cual detrás de las antenas emisora y receptora, hay toda una circuitería capaz de generar, distribuir, modular, amplificar, mezclar, filtrar y detectar la señal. Otros ejemplos lo constituyen los sistemas de comunicación por satélite, los sistemas radar y los sistemas de comunicación móviles, muy en boga en nuestros días.

La tecnología de semiconductores, que proporciona dispositivos activos que operan en el rango de las microondas, junto con la invención de líneas de transmisión planares; ha permitido la realización de tales funciones por circuitos híbridos de microondas.

En estos circuitos, sobre un determinado sustrato se definen las líneas de transmisión necesarias. Elementos pasivos (condensadores, resistencias) y activos (transistores, diodos) son posteriormente incorporados al circuito mediante el uso de pastas adhesivas y técnicas de soldadura. De ahí el nombre de tecnología híbrida de circuitos integrados (HMIC: "Hibrid Microwave Integrated Circuit"). Recientemente, la tecnología monolítica de circuitos de microondas (MMIC), permite el diseño de circuitos/subsistemas capaces de realizar, muchas de las funciones mencionadas anteriormente, en un sólo "chip". Por las ventajas que ofrece ésta tecnología, su aplicación en el diseño de amplificadores para receptores ópticos, constituye un campo activo de investigación y desarrollo.

El diseño de circuitos de microondas en ambas tecnologías, ha exigido un modelado preciso de los diferentes elementos que forman el circuito. De especial importancia son los dispositivos activos (MESFET, HEMT, HBT); pues conocer su comportamiento tanto en pequeña señal como en gran señal (régimen no lineal), es imprescindible para poder predecir la respuesta de un determinado circuito que haga uso de él. El análisis, modelado y simulación de éstos dispositivos, constituye otra de las áreas de trabajo

Materiales en comunicaciones

La utilización de nuevos materiales con altas prestaciones es uno de los pilares del avance espectacular de las tecnologías de la información y comunicaciones. El desarrollo de aplicaciones basadas en sus propiedades requiere un profundo conocimiento previo de éstas. En particular, el descubrimiento de superconductividad en óxidos cerámicos multimetálicos a temperaturas superiores a 77 K (superconductores de alta temperatura, SAT) puede permitir del desarrollo práctico de algunas aplicaciones de la superconductividad económicamente inviables con los superconductores clásicos. Sin embargo, la gran complejidad de los SAT y su naturaleza granular dificultan la puesta en marcha de aplicaciones de los mismos de forma inmediata, a pesar del gran esfuerzo investigador que en este campo se está realizando en los países avanzados. En concreto, en nuestro grupo se ha trabajado en la caracterización experimental y modelado fenomenológico de las propiedades electromagnéticas de superconductores de alta temperatura crítica, incidiendo especialmente en las implicaciones de la granularidad, y en el desarrollo de aplicaciones de los mismos en magnetometría y en cintas para el transporte de corriente sin pérdidas. Por otra parte, en relación con las aplicaciones de la superconductividad clásica, se ha trabajado en la implementación en España de los patrones primarios de tensión (efecto Josephson) y resistencia (efecto Hall cuántico), en colaboración con grupos nacionales y extranjeros especializados en metrología eléctrica básica. Por último, también se ha colaborado con otros grupos de investigación en la caracterización electromagnética de materiales de interés tecnológico, como imanes permanentes o aceros estructurales

TRANSMISIÓN SIN CABLES

INTRODUCCIÓN

Cuando se piensa en comunicación de datos generalmente se piensa en comunicación a través de cable, debido a que la mayoría de nosotros tratamos con este tipo de tecnología en nuestro día a día. Haciendo a un lado las complicadas redes cableadas también tenemos la llamada COMUNICACIÓN INALÁMBRICA muy comúnmente a nuestro alrededor.

La Comunicación de data inalámbrica en la forma de microondas y enlaces de satélites son usados para transferir voz y data a larga distancia. Los canales inalámbricos son utilizados para la comunicación digital cuando no es económicamente conveniente la conexión de dos puntos vía cable; además son ampliamente utilizados para interconectar redes locales (LANS) con sus homologas redes de área amplia (WANS) sobre distancias moderadas y obstáculos como autopistas, lagos, edificios y ríos. Los enlaces vía satélite permiten no solo rebasar obstáculos físicos sino que son capaces de comunicar continentes enteros, barcos, rebasando distancia sumamente grandes.

Los sistemas de satélites y de microondas utilizan frecuencias que están en el rango de los MHz y GHz, usualmente utilizan diferentes frecuencias para evitar interferencias pero comparten algunas bandas de frecuencias.

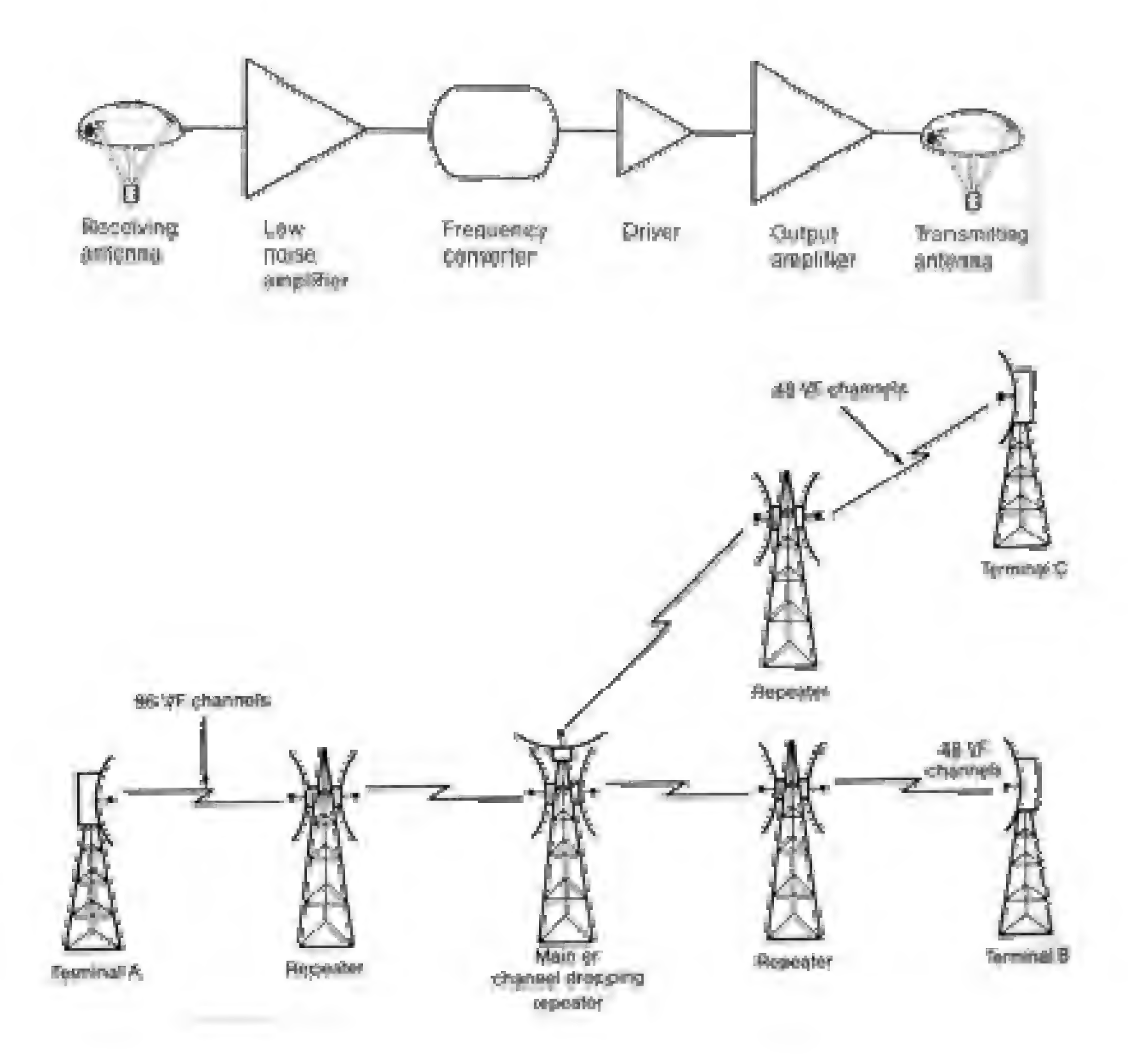
COMUNICACIÓN VÍA MICROONDAS

Básicamente un enlace vía microondas consiste en tres componentes fundamentales: El Transmisor, El receptor y El Canal Aéreo. El Transmisor es el responsable de modular una señal digital a la frecuencia utilizada para transmitir, El Canal Aéreo representa un camino abierto entre el transmisor y el receptor, y como es de esperarse el receptor es el encargado de capturar la señal transmitida y llevarla de nuevo a señal digital.

El factor limitante de la propagación de la señal en enlaces microondas es la distancia que se debe cubrir entre el transmisor y el receptor, además esta distancia debe ser libre de obstáculos. Otro aspecto que se debe señalar es que en estos enlaces, el camino entre el receptor y el transmisor debe tener una altura mínima sobre los obstáculos en la vía, para compensar este efecto se utilizan torres para ajustar dichas alturas.

ANTENAS Y TORRES DE MICROONDAS

La distancia cubierta por enlaces microondas puede ser incrementada por el uso de repetidoras, las cuales amplifican y redireccionan la señal, es importante destacar que los obstáculos de la señal pueden ser salvados a través de reflectores pasivos. Las siguientes figuras muestran como trabaja un repetidor y como se ven los reflectores pasivos.



La señal de microondas transmitidas es distorsionada y atenuada mientras viaja desde el transmisor hasta el receptor, estas atenuaciones y distorsiones son causadas por una perdida de poder dependiente a la distancia, reflexión y refracción debido a obstáculos y superficies reflectoras, y a pérdidas atmosféricas.

La siguiente es una lista de frecuencias utilizadas por los sistemas de microondas:

Common Carrier	Operational Fixed
2.110	2.130 GHz
1.850	1.990 GHz
2.160	2.180 GHz
2.130	2.150 GHz
3.700	4.200 GHz
2.180	2.200 GHz
5.925	6.425 GHz
2.500	2.690 GHz
10.7	11.700 GHz
6.575	6.875 GHz
12.2	12.700 GHz

Debido al uso de las frecuencias antes mencionadas algunas de las ventajas son:

- Antenas relativamente pequeñas son efectivas.
- A estas frecuencias las ondas de radio se comportan como ondas de luz, por ello la señal puede ser enfocada utilizando antenas parabólicas y antenas de embudo, además pueden ser reflejadas con reflectores pasivos.
- Ora ventaja es el ancho de banda, que va de 2 a 24 GHz.

Como todo en la vida, el uso de estas frecuencias también posee desventajas:

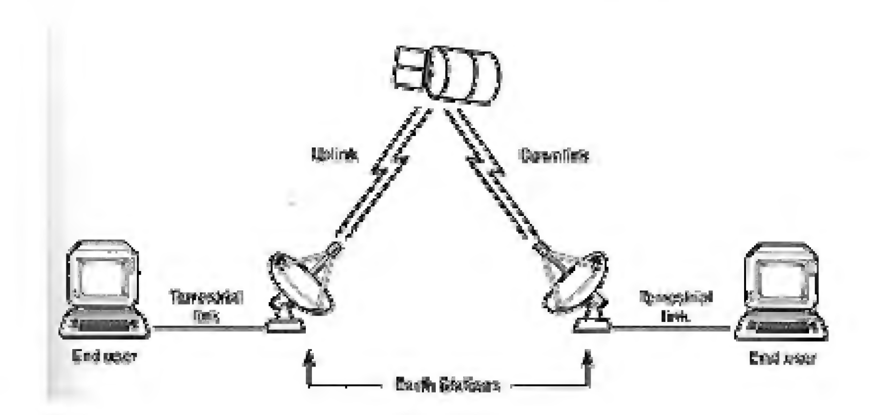
Las frecuencias son susceptibles a un fenómeno llamado Disminución de Multicamino (Multipath Fafing), lo que causa profundas disminuciones en el poder de las señales recibidas.

A estas frecuencias las perdidas ambientales se transforman en un factor importante, la absorción de poder causada por la lluvia puede afectar dramáticamente el Performance del canal.

COMUNICACIÓN POR SATÉLITE

Básicamente, los enlaces satelitales son iguales a los de microondas excepto que uno de los extremos de la conexión se encuentra en el espacio, como se había mencionado un factor limitante para la comunicación microondas es que tiene que existir una línea recta entre los dos puntos pero como la tierra es esférica esta línea se ve limitada en tamaño entonces, colocando sea el receptor o el transmisor en el espacio se cubre un área más grande de superficie.

El siguiente gráfico muestra un diagrama sencillo de un enlace vía satélite, nótese que los términos UPLINK y DOWNLINK aparecen en la figura, el primero se refiere al enlace de la tierra al satélite y la segunda del satélite a la tierra.



Las comunicaciones vía satélite poseen numerosas ventajas sobre las comunicaciones terrestres, la siguiente es una lista de algunas de estas ventajas:

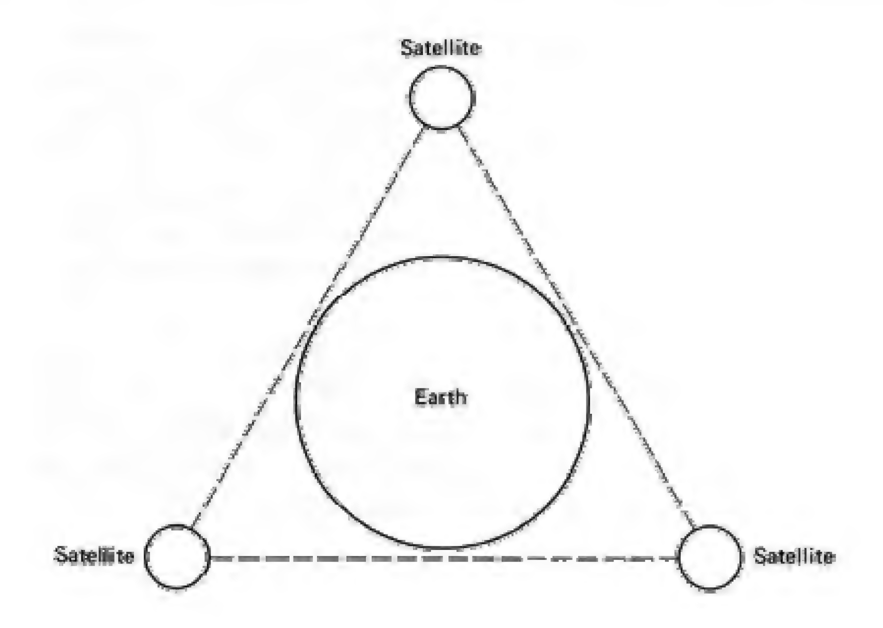
- El costo de un satélite es independiente a la distancia que valla a cubrir.
- La comunicación entre dos estaciones terrestres no necesita de un gran número de repetidoras puesto que solo se utiliza un satélite.
- Las poblaciones pueden ser cubiertas con una sola señal de satélite, sin tener que preocuparse en gran medida del problema de los obstáculos.
- Grandes cantidades de ancho de bandas están disponibles en los circuitos satelitales generando mayores velocidades en la transmisión de voz, data y vídeo sin hacer uso de un costoso enlace telefónico.

Estas ventajas poseen sus contrapartes, alguna de ellas son:

- El retardo entre el UPLINK y el DOWNLINK esta alrededor de un cuarto de segundo, o de medio segundo para una señal de eco.
- La absorción por la lluvia es proporcional a la frecuencia de la onda.

- Conexiones satelitales multiplexadas imponen un retardo que afectan las comunicaciones de voz, por lo cual son generalmente evitadas.

Los satélites de comunicación están frecuentemente ubicados en lo que llamamos Orbitas Geosincronizadas, lo que significa que el satélite circulará la tierra a la misma velocidad en que esta rota lo que lo hace parecer inmóvil desde la tierra. Un a ventaja de esto es que el satélite siempre esta a la disposición para su uso. Un satélite para estar en este tipo de órbitas debe ser posicionado a 13.937,5 Kms. de altura, con lo que es posible cubrir a toda la tierra utilizando solo tres satélites como lo muestra la figura.



Un satélite no puede retransmitir una señal a la misma frecuencia a la que es recibida, si esto ocurriese el satélite interferiría con la señal de la estación terrestre, por esto el satélite tiene que convertir la señal recibida de una frecuencia a otra antes de retransmitirla, para hacer esto lo hacemos con algo llamado "Transponders". La siguiente imagen muestra como es el proceso.

Al igual que los enlaces de microondas las señales transmitidas vía satélites son también degradadas por la distancia y las condiciones atmosféricas.

Otro punto que cabe destacar es que existen satélites que se encargan de regenerar la señal recibida antes de retransmitirla, pero estos solo pueden ser utilizados para señales digitales, mientras que los satélites que no lo hacen pueden trabajar con ambos tipos de señales (Análogas y Digitales).

1. MICROONDAS

Se denomina así la porción del espectro electromagnético que cubre las frecuencias entre aproximadamente 3 Ghz y 300 Ghz (1 Ghz = 10^9 Hz), que corresponde a la longitud de onda en vacío entre 10 cm. y 1mm.

La propiedad fundamental que caracteriza a este rango de frecuencia es que el rango de ondas correspondientes es comparable con la dimensión físicas de los sistemas de laboratorio; debido a esta peculiaridad, las m. Exigen un tratamiento particular que no es extrapolable de ninguno de los métodos de trabajo utilizados en los márgenes de

frecuencias con que limita. Estos dos límites lo constituyen la radiofrecuencia y el infrarrojo lejano. En radiofrecuencia son útiles los conceptos de circuitos con parámetros localizados, debido a que, en general, las longitudes de onda son mucho mayores que las longitudes de los dispositivos, pudiendo así, hablarse de autoinducciones, capacidades, resistencias, etc., debido que no es preciso tener en cuenta la propagación efectiva de la onda en dicho elemento; por el contrario, en las frecuencias superiores a las de m. son aplicables los métodos de tipo ÓPTICO, debido a que las longitudes de onda comienzan a ser despreciables frente a las dimensiones de los dispositivos.

El método de análisis más general y ampliamente utilizado en m. consiste en la utilización del campo electromagnético caracterizado por los vectores (E, B, D y H en presencia de medios materiales), teniendo en cuenta las ecuaciones de MAXWELL (v), que rigen su comportamiento y las condiciones de contorno metálicos son muy frecuentes a estas frecuencias, cabe destacar que, p.ej, el campo E es normal y el campo H es tangencial en las proximidades externas de un conductor. No obstante, en las márgenes externas de las m. se utilizan frecuentemente los métodos de análisis correspondientes al rango contiguo del espectro; así, a frecuencias elevadas m. son útiles los conceptos de RAYO, LENTE, etc., ampliamente utilizados en óptica, sobre todo cuando la propagación es transversal electromagnética, (TEM, E y B perpendiculares entre sí y a la dirección de propagación) en el espacio libre. Por otro lado, a frecuencias bajas de m, colindantes con las radiofrecuencias, es útil la teoría de circuitos con parámetros distribuidos, en la que toma en cuenta la propagación efectiva que va a tener la onda en un elemento cualquiera. Así, un trozo de cable metálico, que en baja frecuencia representa simplemente un corto circuito que sirve para efectuar una conexión entre elementos, dejando equipotenciales los puntos que une, a alta frecuencia un sistema cuya frecuencia, por efecto peculiar, puede no ser despreciable y cuya autoinducción puede causar una impedancia que sea preciso tomar en cuenta. Entonces es preciso representar este cable a través de su impedancia (resistencia y autoinducción) por unidad de longitud.

También en la parte de instrumentación experimental, generación y transmisión de m, estas tienen peculiaridades propias que obligan a utilizar con características diferentes a los de los rangos de frecuencias vecinos. Respecto a limitaciones que impiden su funcionamiento a frecuencias de m., como a continuación esquematizamos.

Las líneas de baja frecuencia son usualmente ABIERTAS, con lo cual, si se intenta utilizar a frecuencias elevadas, automáticamente surgen problemas de radiación de la energía electromagnética; para superar este inconveniente es necesario confirmar los campos electromagnéticos, lo que normalmente se efectúa por medio de contornos metálicos; así, los sistemas de transmisión usuales a m. son, o bien lineas coaxiales, o bien, en general, guías de onda continuadas por conductores abiertos o tuberías. En este sentido es ilustrativo ver la evolución de un circuito resonante LC paralelo de baja frecuencia hacia una cavidad resonante, que es circuito equivalente en m. Como a alta frecuencia las inductancias y capacidades (ELECTROSTÁTICA; INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA), cobran gran importancia, por pequeñas que sean, un circuito resonante para frecuencias RELATIVAS ALTAS puede ser sencillamente dos placas paralelas y una espira uniendo ambas placas; es para reducir aún más la inductancia se ponen varias espiras en paralelo, se llega a obtener una región completamente cerrada por paredes conductoras.

La energía electromagnética solo puede almacenarse en una cavidad a frecuencias próximas a las denominadas de resonancia de la misma, las cuales dependen fndamentalmente de su geometría; los campos anteriores penetran solo en una capa delgada de las paredes metálicas siendo el espesor ô, de esta capa, denominada profundidad de penetración, dependiente de la frecuencia y de la conductividad del material que constituya a la cavidad a través de la expresión ô= 2/WUO, donde W,U y son respectivamente la frecuencia de la onda, la permeabilidad magnética y conductividad del material (ELÉCTRICA, CONDUCCIÓN, ELECTROMAGNETISMO) así, para los siguientes metales: aluminio, oro, cobre y plata, los valores de ô a 3Ghz son respectivamente de 1,6, 1,4, 1,2 y 1,4 u. De esta forma es fácil comprender que la energía disipada en las cavidades, si éstas están hechas por buenos conductores, es pequeña, con lo cual las Q, o factores de mérito de las cavidades resonantes Q =2 ƒƒ (energía almacenada)/(energía disipada por ciclo), suelen estar en orden de 10 ^4, pudiendo alcanzar valores mas elevados. Por otra parte el pequeño valor de ô permite fabricar guías de excelente calidad con un simple recubrimiento interior de buen material conductor, (plateado o dorado).

La utilización en m, de las válvulas de vacío convencionales, como amplificadores osciladores, esta limitada, por una parte, por el tiempo de tránsito de los electrones en el interior de la válvula y, por otra, por las inductancias y por las capacidades asociadas al cableado y los electrodos de la misma.

El tiempo de tránsito al hacerce comparable con el período de las oscilaciones, da lugar a que haya un defase entre el campo y las oscilaciones de los electrones; esto implica un consumo de energía que disminuye la impedancia de entrada de la válvula, aunque su rejilla, polarizada negativamente, no capte electrones. Las inductancias y capacidades parásitas causan efectos de resonancia y acople interelectrónico que también conducen a una limitación obvia.

Son muchas las modificaciones sugeridas y utilizadas para superar estos inconvenientes, basándose en los mismos principios de funcionamiento, pero, a frecuencias ya de lleno en el rango de las m., tanto los circuitos de válvulas como los semiconductores trabajan según una concepción completamente diferente a los correspondientes de la baja frecuencia.

MODULACIÓN EN MICROONDAS

Los generadores de microondas son generadores críticos en cuanto a la tensión y la corriente de funcionamiento.

Uno de los medios es no actuar sobre el generador o amplificador pero si utilizar un dispositivo diodo pin en la guía de salida, modulada directamente la amplitud de la onda.

Otro medio es utilizar un desfasador de ferrita y modular la onda en fase. En este caso es fácil obtener modulación en frecuencia a través del siguiente proceso:

En una primera etapa, se modula en FM una portadora de baja frecuencia, por ejemplo 70 Mhz.

En una segunda etapa, esta portadora modulada es mezclada con la portadora principal en frecuencia de Ghz, por ejemplo 10 Ghz.

Un filtro de frecuencias deja pasar la frecuencia suma, 10070 Mhz con sus bandas laterales de 3 Mhz y por lo tanto la banda pasante será de 10067 a 10073 Mhz que es la señal final de microondas.

En el receptor se hace la mezcla de esta señal con el oscilador local de 10 Ghz seguido de un filtro que aprovecha la frecuencia de diferencia 70 Mhz la cual es amplificada y después detectada por las técnicas usuales en FM.

VENTAJAS DE LOS RADIOENLACES DE MICROONDAS COMPARADOS CON LOS SISTEMAS DE LÍNEA METÁLICA

- Volumen de inversión generalmente mas reducido.
- Instalación más rápida y sencilla.
- Conservación generalmente más económica y de actuación rápida.
- Puede superarse las irregularidades del terreno.
- La regulación solo debe aplicarse al equipo, puesto que las características del medio de transmisión son esencialmente constantes en el ancho de banda de trabajo.
- Puede aumentarse la separación entre repetidores, incrementando la altura de las torres.

DESVENTAJAS DE LOS RADIOENLACES DE MICROONDAS COMPARADOS CON LOS SISTEMAS DE LÍNEA METÁLICA

- Explotación restringida a tramos con visibilidad directa para los enlaces.
- Necesidad de acceso adecuado a las estaciones repetidoras en las que hay que disponer de energía y acondicionamiento para los equipos y servicios de conservación. Se han hecho ensayos para utilizar generadores autónomos y baterías de células solares.
- La segregación, aunque es posible y se realiza, no es tan flexible como en los sistemas por cable
- Las condiciones atmosféricas pueden ocasionar desvanecimientos intensos y desviaciones del haz, lo que implica utilizar sistemas de diversidad y equipo auxiliar requerida, supone un importante problema en diseño.

ESTRUCTURA GENERAL DE UN RADIOENLACE POR MOCROONDAS

Un radioenlace esta constituido por equipos terminales y repetidores intermedios. La función de los repetidores es salvar la falta de visibilidad impuesta por la curvatura terrestre y conseguir así enlaces superiores al horizonte óptico. La distancia entre repetidores se llama vano.

Los repetidores pueden ser:

- Activos
- Pasivos

En los repetidores pasivos o reflectores.

- No hay ganancia
- Se limitan a cambiar la dirección del haz radielectrónico.

PLANES DE FRECUENCIA - ANCHO DE BANDA EN UN RADIOENLACE POR MICROONDAS

En una estación terminal se requieran dos frecuencias por radiocanal.

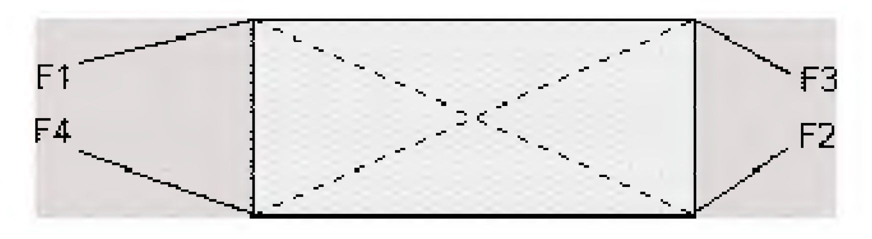
- Frecuencia de emisión
- Frecuencia de recepción

Es una estación repetidora que tiene como mínimo una antena por cada dirección, es absolutamente necesario que las frecuencias de emisión y recepción estén suficientemente separadas, debido a:

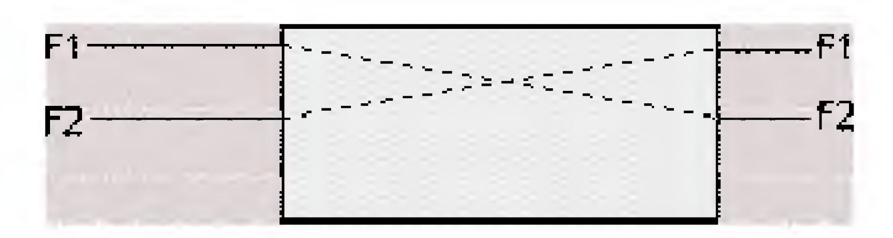
1. La gran diferencia entre los niveles de las señales emitida y recibida, que puede ser de 60 a 90 dB.
2. La necesidad de evitar los acoples entre ambos sentidos de transmisión.
3. La directividad insuficiente de las antenas sobre todas las ondas métricas.

Por consiguiente en ondas métricas (30-300 Mhz) y decimétricas (300 Mhz - 3 Ghz), conviene utilizar cuatro frecuencias (plan de 4 frecuencias).

En ondas centimétricas, la directividad es mayor y puede emplearse un plan de 2 frecuencias.



Plan de 4 Frecuencias



Plan de 2 Frecuencias

2. GENERACIÓN DE MICROONDAS

Quizás fue el MAGNETRON, como generador de m. De alta potencia, el dispositivo que dio pie al desarrollo a gran escala de las m., al abrir paso a la utilización de sistemas de radar durante la II Guerra Mundial; sin embargo, fueron KLYSTRONS, los que dieron una mayor versatilidad de utilización de las m., sobre todo en el campo de las comunicaciones, permitiendo además una mayor comprensión de los fenómenos que tiene en lugar los tubos de m. El principio básico de funcionamiento de estos generadores es la modulación de velocidad de un haz electrónico que al atravesar una cavidad resonante, excita en ella oscilaciones electromagnéticas de la frecuencia de m, deseada. El estudio de los KLYSTRONS obligó a un amplio desarrollo desde los fenómenos de carga espacial, la interpretación de la operación de los tubos

Sin embargo, fue el desarrollo de otro tipo de válvulas, las de ONDA PROGRESIVA (TWT, Travelling-Wave Tube); siglas de ésta clase de tubos, las que dieron lugar a una mejor compresión de los fenómenos que tienen lugar en los haces electrónicos, sobre todo en lo que respecta a las ondas electromecánicas, daban lugar a amplificación o generación de m. Para que este acoplamiento sea efectivo es preciso reducir la velocidad de fase de la onda electromagnética lo cual se hace mediante estructuras periódicas de entre las cuales la más utilizada es la hélice; de esta forma es posible mantener una iteración continuada entre la onda electromagnética y el haz electrónico, modulado en velocidad, y consecuentemente en densidad, que va cediendo su energía, digamos cinética, a la onda electromagnética. Posteriormente también se desarrollo el tubo de onda regresiva (BWO< Backward- wave oscillator), en el cual la velocidad de fase de la onda va en dirección opuesta al flujo de energía en el circuito, que ofrecí a, además, una mayor amplitud de sintonía en frecuencia mediante control electrónico.

Los dispositivos anteriores se basan en la conversión de energía de continuidad en la energía de m, mientras que los amplificadores paramétricos (AMPLIFICADOR, 8) uti-

lizan como fuente de energía una de alterna que convierten, por un procedimiento de mezcla, en la de alta frecuencia deseada. En lugar de utilizar como elemento resistivo, utilizan un elemento reactivo, como puede ser un diodo de capacidad variable, y de aquí el bajo nivel de ruido que se puede lograr. Un fundamento análogo tienen los amplificadores cuánticos MASER. Son estos amplificadores de bajo nivel de ruido los que han abierto un gran campo de operación en radioastronomía, así como las intercontinentales vía satélite etc.

Un problema conserniente al desarrollo de las m, lo ha constituido hasta ahora el precio elevado de los generadores; ha sido el decubrimiento de los osciladores a semiconductores el que a abaratado, va camino de hacerlo aun más, dichos generadores, con el cual el campo de aplicaciones de las m.

Está creciendo a un nivel tal que impide predecir las repercusiones futuras, que incluso pueden ser negativas. Estos dispositivos también tienen una concepción diferente a los usuarios de baja frecuencia esencial en que en los de baja frecuencia los electrones del semiconductor son TIBIOS en el sentido que sus energías no difieren grandemente de la red del material, mientras que en los de m. Los electrones son CALIENTES, con energías eléctricas adquiridas de campos eléctricos elevados, que pueden ser muy superiormente a energía de m.

El primero de estos dispositivos se basó en el denominado efecto GUNN que se presenta en semiconductores compuestos, como el arseniuro de galio, material en el fue inicialmente detectado, y desde entonces se han descrito muchos dispositivos, algunos basados en fenómenos bulímicos en el semiconductor, como los gunn, y otros fenómenos que tienen lugar en uniones de semiconductores.

TRANSMISIÓN DE MICROONDAS

Un sistema en el que se utilizan localmente las m. Constará fundamentalmente de un generador y de un medio de transmisión de la onda hasta la carga; en caso contrario, tendremos necesidad de un sistema emisor y otro receptor, estando el emisor compuesto por los elementos anteriormente citados, donde la carga será una antena emisora, mientras que el receptor será otra antena, medio de transmisión y detector adecuado.

Además de estos elementos existirán otras componentes como pueden ser atenuadores, desfasadores, frecuencimetros, medidores de onda estacionaria, etc.; nosotros nos vamos a circunscribir fundamentalmente a la guía de onda, como elemento fundamental de transmisión a éstas frecuencias.

Como ya se ha citado, la guía de onda es esencia una tubería metálica, a través de la cual se propaga el campo electromagnético sin prácticamente atenuación, dependiendo esta del material de que la misma esté fabricada; así, a una frecuencia determinada, y para una geometría concreta, la atenuación será tanto menor cuanto mejor conductor sea el material. A diferencia de lo que ocurre en el medio libre, en el que el haz de ondas electromagnéticas es mas o menos divergente y sus campos transversales electromagnéticos (ondas TEM, ya citadas), en una guía el campo esta confinado en su interior, evitándose la radiación hacia el exterior, y sus campos ya no pueden ser TEM sino que han de hacer necesariamente del tipo TE (campo electrónico transversal a la

dirección de propagación), o bien TM (campo magnético transversal) o bien híbridos, es decir, mezcla de TE y TM.

La configuración de la geometría, tipo de excitación de la guía y frecuencia, ocurriendo además que ciertas configuraciones de campo, denominadas modos, solo son posibles a frecuencias superiores a una determinada, denominada frecuencia de corte, existiendo un modo de propagación de dichos campos, el modo fundamental, que posee la frecuencia de corte mínima. Por debajo de esta frecuencia la guía no propaga la energía electromagnética.

APLICACIONES DE LAS MICROONDAS

Sin duda podemos decir que el campo mas valioso de aplicación de las m. es el ya mencionado de las comunicaciones, desde las que pudiéramos denominar privadas, pasando por las continentales e intercontinentales, hasta llegar a las extraterrestres.

En este terreno, las m. actúan generalmente como portadoras de información, mediante una modulación o codificación apropiada. En los sistemas de radar, cabe citar desde los empleados en armamento y navegación, hasta los utilizados en sistemas de alarma; estos últimos sistemas suelen también basarse en efecto DOPPLER o en cambios que sufre la razón de onda estacionaria (SWR) de una antena, pudiendo incluso reconocerse la naturaleza del elemento de alarma. Sistema automático de puertas, medida de velocidad de vehículos, etc.

Otro gran campo de aplicación es el que se pudiera denominar científico. En radioastronomía ocurre que las radiaciones extraterrestres con frecuencia comprendidas entre 10 Mhz y 10Ghz pueden atravesar el filtro impuesto por la atmósfera y llegar hasta nosotros.

Entre estas radiaciones están algunas de tipo espectral, como la línea de 1420 OH, y otras de tipo continuo debidas a radiación térmica, emisión giromagnética, sincrotónica, etc. La detección de estas radiaciones permite obtener información de la dinámica y constitución del universo. En el estudio de los materiales (eléctricos, magnéticos, palmas) las m. se pueden utilizar bien para la determinación de parámetros macroscópicos, como son la permitividad eléctrica y la permeabilidad magnética, bien para el estudio directo de la estructura molecular de la materia mediante técnicas espectroscópicas y de resonancia.

En el campo médico y biológicose utilizan las m. Para la observación de cambios fisiológicos significativos de parámetros del sistema circulatorio y respiratorio.

Es imposible hacer una enumeración exhaustiva de aplicaciones que, aparte de las ya citadas, pueden ir desde la mera confección de juguetes hasta el controlar de procesos o funcionamiento de computadores ultra rápidos. Quizá el progreso futuro de las microondas. Esta en el desarrollo cada día mayor, de los dispositivos a estado sólido, en los cuáles se consigue una disminución de precio y tamaño que puede llegar a niveles insospechados; estos sistemas son la combinación de los generadores a semiconductores con las técnicas de circuiteria integrada, fácilmente adaptables a la producción en masa.

Sin embargo no todo son beneficios; un crecimiento incontrolado de la utilización de las m, puede dar lugar a problemas no solo de congestión del espectro, interferencias, etc., sino también de salud humana; este último aspecto no está lo suficientemente estudiado, como se deduce del hecho de que los índices de peligrosidad sean marcadamente diferentes de unos países a otros.

3. PROPAGACIÓN DE MICROONDAS

Las microondas ocupan una porción del espectro de frecuencias entre 1 y 300 Ghz que corresponde a 10 cm y mm respectivamente, en longitudes de onda. En la práctica son ondas del orden de 1 Ghz a 12 Ghz.

La banda espectral de las microondas de divide en sub-bandas tal como se muestra en la tabla.

	FRECUENCIA (GHz)	LONGITUD DE ONDA APROXIMADA (Cm)
S	1.5 A 8	10
X	8 A 12.5	3
K	12.5 A 40	1.1
Q	40 A 50	0.8

Sub-bandas en las que se divide la banda espectral de las microondas.

Los sistemas de microondas son usados en enlaces de televisión, en multienlaces telefónicos y general en redes con alta capacidad de canales de información.

Las microondas atraviesan fácilmente la ionosfera y son usadas también en comunicaciones por satélites.

La longitud de onda muy pequeña permite antenas de alta ganancias.

Como el radio de fresnel es relativamente pequeño, la propagación se efectúa como en el espacio libre.

Si hay obstáculos que obstruyan el radio de fresnel, la atenuación es proporcional al obstáculo.

De la ecuación se obtiene la atenuación Pr/Pt en enlaces espaciales

$$Pr/Pt\ (dB) = Gt\ (dB) + Gr\ (dB) + 20 \log h\ (m) - 22 - 20 \log r\ (Km)$$

donde r es la distancia del enlace, h es la longitud de onda Gt Y Gr son las ganancias del transmisor y del receptor receptivamente.

A la atenuación en espacio libre se le agregan algunos valores de atenuación debido a obstáculos:

- 6 dB: Incidencia restante.

- 40 dB: Bloqueo total del haz.

La atenuación puede variar de 6 a 20 dB dependiendo del tipo de superficie que provoca la difracción. Así:

- 6 dB: Para una difracción en filo de cuchilla, con incidencia resante.

- 20 dB: Difracción con incidencia resante en obstáculo mas redondeado como terreno ligeramente ondulado o agua que sigue la curvatura de la tierra.

En condiciones desfavorables las perdidas por reflexión pueden ser de hasta 50 db (propagación sobre mar).

Si la superficie es rugosa se consideran despreciables las perdidas por reflexión.

La temperatura efectiva de ruido Te del circuito receptor, referida a los terminales de entrada y la cifra de ruido o (factor de ruido) F de un circuito están relacionados de la siguiente forma:

F = 1 + Te/To

F es la razón de la potencia de ruido real de salida (al conectar en un generador de temperatura normalizado de To=290^oK) y la potencia de ruido de salida que existiría para la misma entrada, si el circuito no tuviera ruidos propios.

Por tanto, se nota que

F = 1 o 0 dB corresponde a Te = 0^K

F = 2 o 3 dB corresponde a Te = 290^oK, etc.

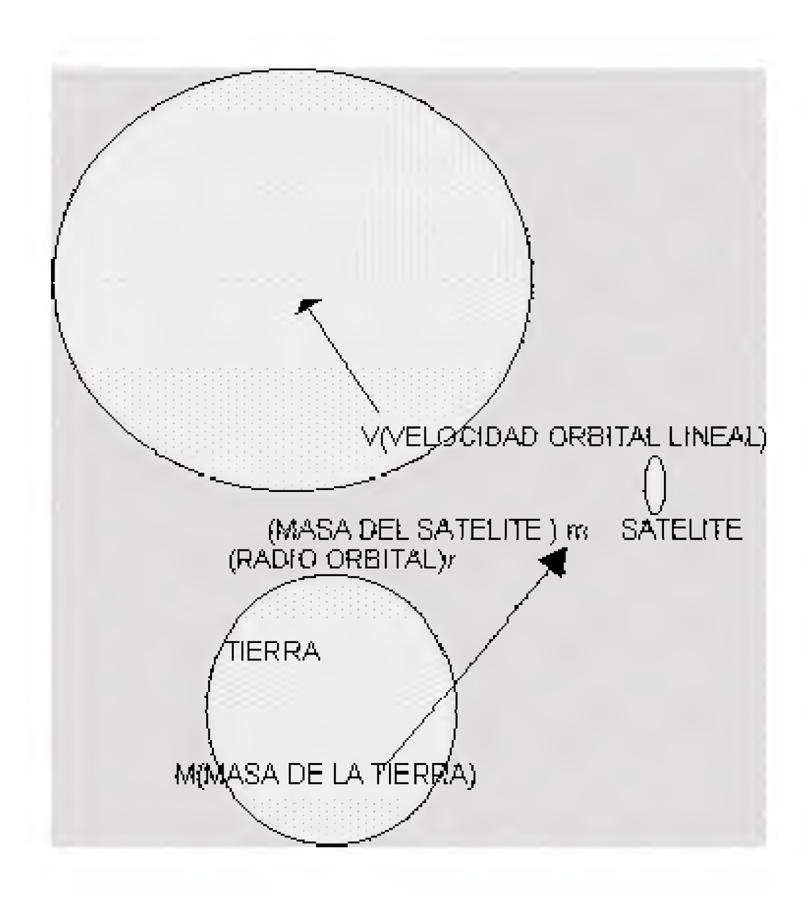
UTILIZACIÓN DE MICROONDAS EN COMUNICACIONES ESPACIALES

Los satélites artificiales han extendido el alcance de la línea de propagación y han hecho posible la transmisión transoceánica de microondas por su capacidad de admitir anchas bandas de frecuencias. La línea de transmisión puede extenderse por uno de los distintos medios existentes.

El satélite en forma de globo de plástico metalizado exteriormente puede ser empleado como reflector pasivo, en cuyo caso no se necesita equipo alguno en el satélite. Se ha estimado que veinticuatro de tales reflectores pasivos en órbitas polares establecidas al azar alrededor de unos 5000 kilómetros permitirían una transmisión transatlántica que solo se interrumpiría menos de 1% del tiempo.

Como segunda posibilidad, el satélite puede emplearse como un receptor activo en microondas, retransmitiendo la señal que recibe, bien instantáneamente o tras un almacenaje hasta que el este próximo a la estación receptora. En este último caso la capacidad del canal queda limitada.

Con el satélite en una órbita próxima es decir, inferior a 8000 kilómetros, la pérdida de transmisión es moderada, pero las estaciones terrestres deben tener antenas capaces de explotar casi de horizonte a horizonte. Si el satélite se sitúa en una órbita ecuatorial de veinticuatro horas parecerá como si tuviera fijo sobre algún punto del ecuador, darían una cobertura mundial. Con el satélite fijo en su posición respecto a la tierra y estabilizado en su orientación pueden emplearse antenas grandes y relativamente económicas para las estaciones terrestres, pudiéndose emplear en el satélite una antena con una directividad modesta.



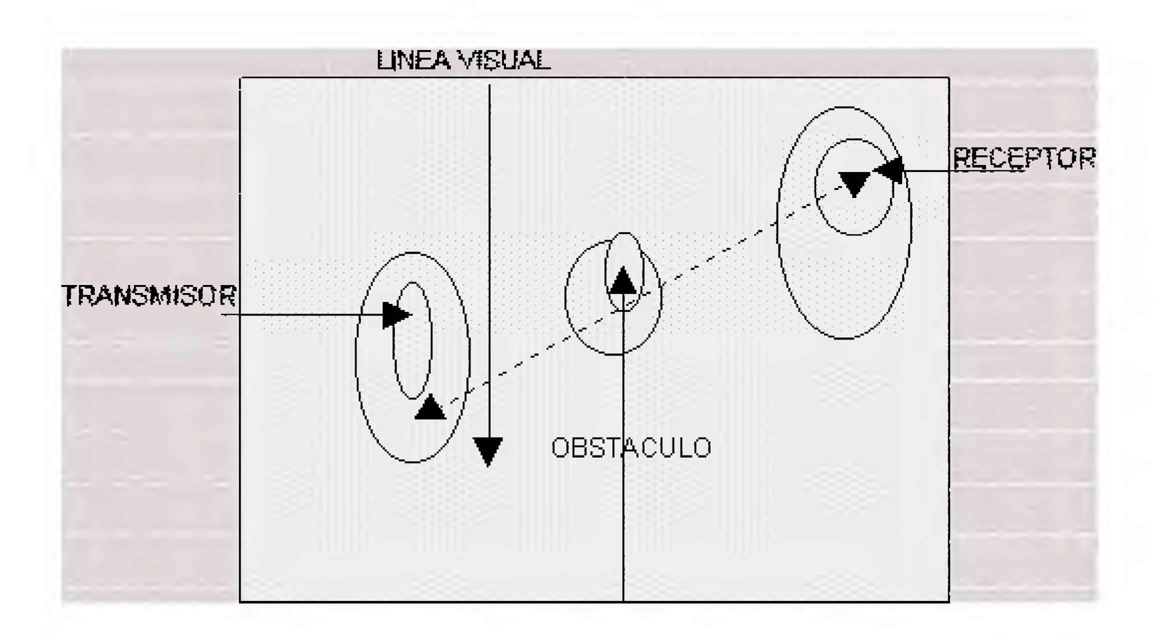
Satélite artificial en órbita circular. r =42000 Km

desconectado el radio terrestre Rt= 6370 Km se ve que la altura sobre el suelo del satélite será aproximadamente igual a 36000 Km que es la órbita de clark.

Los piases de la zona tropical y templada usan los satélites estacionarios.

Los países en zonas mas alejadas del ecuador son forzados a incluir la órbita en relación con el ecuador y prescindir así del sincronismo perfecto, por que el desplazamiento del satélite es lento con relación a la tierra.

Como el satélite no debe cargar grandes masas, la potencia de su transmisor es reducida y su antena es relativamente pequeña. Sus ondas deben atravesar la ionosfera terrestre, de ahí el uso de microondas para conseguir altísimas ganancias en las antenas terrestres son parabólicas de grandes dimensiones, aproximadamente igual a 30 m de diámetro con ganancia de 60 dB en 2 Ghz.



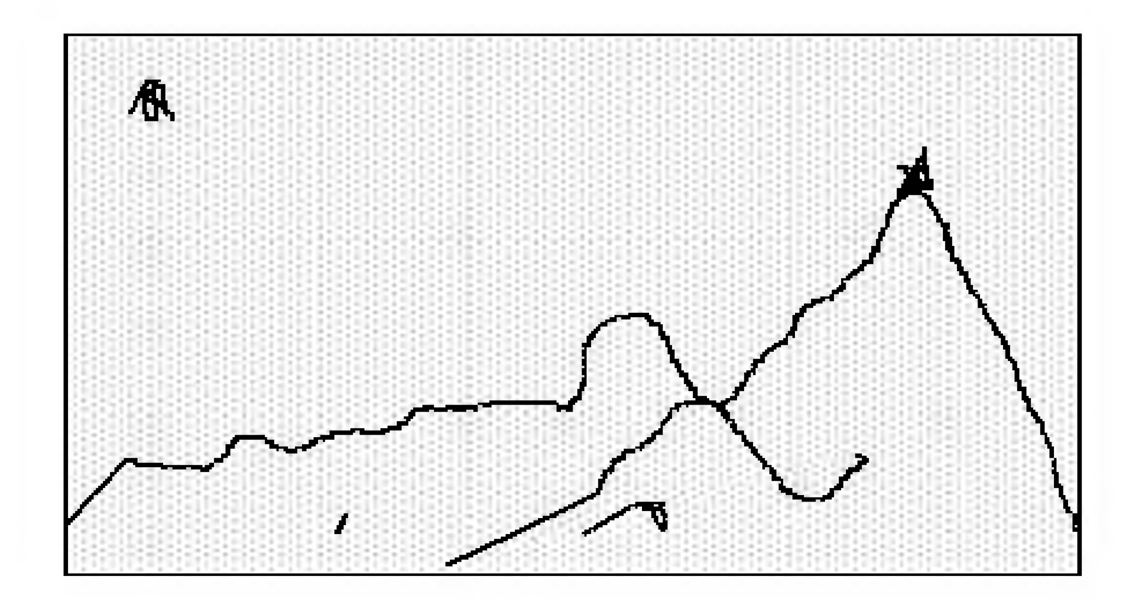
Los enlaces se hacen básicamente entre puntos visibles es decir, puntos altos de la topografía.

Cualquiera que sea la magnitud del sistema de microondas, para funcionamiento correcto es necesario que los recorridos entre enlaces tengan una altura libre adecuada para la propagación en toda época del año, tomando en cuenta las variaciones de las condiciones atmosféricas de la región.

Para poder calcular las alturas libres debe conocerse la topografía del terreno, así como la altura y ubicación de los obstáculos que puedan existir en el trayecto.

Antes de hacer mediciones en el terreno puede ser necesario estudiar los planos topográficos de la zona. Por lo general el estudio minucioso de los mapas y de los planos facilita las labores, sobre todo en sistema extensos con gran numero de repetidoras y donde existe una gran variedad de rutas posibles. Por proceso de eliminación y de selección ha de llegarse a la escogencia de la ruta más favorable.

Sobre un mapa de la región en escalas del orden de 1:10000, 1: 100000 o 1: 200000, se escogen estaciones separadas de 10 a 50 Km



Una vez escogidos los sitios de ubicación propuestos para las torres de las antenas, y habiéndose determinado la elevación del terreno comprendido entre dichos sitios, se prepara un diagrama de perfiles.

En la mayoría de los casos solo es necesario los perfiles de los obstáculos y de sus alrededores, donde pueda obstruirse la línea visual.

Las señales de radiotransmisión en las frecuencias de microondas generalmente se propagan en línea recta en la forma de un haz dirigido de un punto a otro. Sin embargo, el haz puede desviarse o curvarse hacia la tierra por efecto de la refracción de las ondas en la atmósfera. La magnitud de la curvatura se ha tenido en cuenta al calcular el factor K.

Puede emplearse un perfil de trayecto dibujado sin mostrar la curvatura de la tierra, y con el haz de microondas en línea recta entre las dos antenas. Dicho perfil representa el caso en el cual la curvatura del haz es igual a la del terreno y el radio de la tierra es infinito. Esta es una de las condiciones extremas que deben investigarse al estudiar el efecto de las condiciones atmosféricas anormales sobre la propagación de las microondas. Sobre el mismo gráfico se dibujan los recorridos del haz para otros posibles valores de K entre ellos el normal que es 4/3. El trazado de las curvas con

diversos valores de K se hace con plantillas normalizadas. Traza el elipsoide de fresnel para verificar si ocurre obturación.

Determinando el perfil del terreno sobre el que se propaga el haz, se estudiará el margen de este con relación al obstáculo mas prominente. Dicho margen hay que compararlo con el radio de la n-esima zona abscisa o, esta dado por la ecuación

Rfn = Ö nhd1d2/d1+d2,m

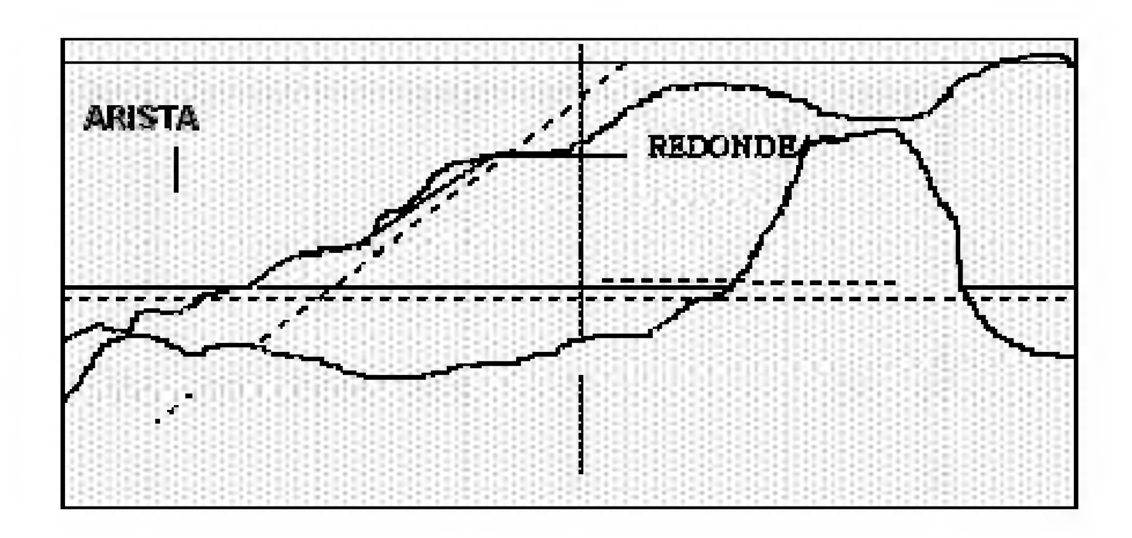
donde :

Rfn = Radio de la n-esima zona de fresnel en metros.

h = Longitud de onda en metros.

d1 = Distancia del transmisor al punto considerado en metros.

d2 = Distancia del punto considerado al receptor en metros.



A partir del mapa de la región se traza en un papel 4/3 el perfil del terreno a lo largo de la trayectoria de estación a estación.

Ordinariamente, el margen sobre obstáculos se refiere al radio d la primera zona de fresnel; si el cociente correspondiente se lleva en abscisas en le gráfico, en coordenadas se obtendrá la influencia sobre la intensidad de campo. Se tiene las condiciones correspondientes a propagación en el espacio libre cuando al margen sobre obstáculos

es 0.6 veces el radio de la primera zona de fresnel. Este es el criterio que se sigue en presencia de obstáculos para determinar la viabilidad de un enlace.

intervalo $-3 < p/ Rf < 1$

Abscisa: margen sobre obstáculos/radio primera zona de fresnel. B. interpretaciones del margen sobre obstáculos

$p > 0$ y $p < o$

La Figura muestra dos interpretaciones existentes para el margen sobre obstáculos p.

La siguiente es una formula empírica para pérdidas por obstáculo.

$Po(dB) = 12\ P/ Rf - 10$

la ecuación anterior es válida en el intervalo $-3 < P/Rf < 1$

Hay momentos en que la distribución de la densidad de la atmósfera cambia y la trayectoria se hace mas restante y pasa a sufrir obstrucción, se debe incluir en los cálculos una pérdida adicional de 3 dB.

Poniendo en funcionamiento tal enlace, la transmisión con atmósfera normal no tendrá la perdida de 3 dB, solo surge en momentos desfavorables y ya está incluida en el diseño.

Luego se calcula la atenuación con la ecuación ( )

$Pr / Pt = Gt\ Ar / 4\ TT\ r^2$

de la ecuación ( ) se tiene

$Ar = Gr\ h^2 / 4\ TT$

Sustituyendo la ecuación ( ) en la ( ) se obtiene la ecuación ( )

$Pr / Pt = Gt\ Gr\ h^2 / (4\ TT\ r)^2$

donde los parámetros son los mismos que se dieron anteriormente.

Expresado en dB la ecuación ( ) se tiene la ecuación ( )

$Pr / Pt\ (dB) = 10 \log Pr / Pt = Gt\ (dB) + Gr\ (dB) + 20 \log h - 20 \log r - 22$

Sobre un terreno liso el alcance D de la radiación depende de la altura de la antena h. Entonces:

D (km) = 4 Ö h (m)

El problema de las reflexiones interferentes es prácticamente inexistente ya que, para las ondas centimétricas todo terreno es áspero y no da buena reflexión según el criterio de Rayleigh.

El único caso peligroso es cuando existe un espejo de aguas mansas como un lago, bahía orio.

4. ANOMALÍAS DE PROPAGACION EN MICROONDAS

El gradiente del índice de refracción o factor K que corresponde al radio eficaz de la tierra se define como el grado y la dirección de la curvatura que describe el haz de microondas durante su propagación

$K = R' / Rt$

Donde Rt es el radio real terrestre y R"es el radio de la curvatura ficticia de la tierra.

Cualquier variación del índice de refracción provocada por la alteración de las condiciones atmosféricas, se expresa como un cambio del factor K.

En condiciones atmosféricas normales, el valor de K varia desde 1.2 para regiones elevadas y secas (o 4/3 en onzas mediterráneas), hasta 2 o 3 para zonas costeras húmedas.

Cuando K se hace infinito, la tierra aparece ante el haz como perfectamente plana, ya que su curvatura tiene exactamente el mismo valor que la terrestre.

Si el valor de K disminuye a menos de 1, el haz se curva en forma opuesta a la curvatura terrestre. Este efecto puede obstruir parcialmente al trayecto de transmisión, produciéndose así una difracción.

El valor de la curvatura terrestre para los distintos valores de K se calcula mediante la siguiente fórmula

$h = d1\ d2 / 1.5\ K$ donde

h = Cambio de la distancia vertical desde una línea horizontal de referencia, en pies,

d1 = Distancia desde un punto hasta uno de los extremos del trayecto, en millas.

d2 = Distancia desde el mismo punto anterior hasta el otro extremo del trayecto, en millas.

K = Factor del radio eficaz de la tierra.

1ml = 1.61Km.

1 pie = 0.3 m.

Con excepción del desvanecimiento por efecto de trayectos múltiples, los desvanecimientos son fácilmente superables mediante:

- Diversidad de espacio.
- Diversidad de frecuencia.
- Diversidad de polarización.

La alteraciones del valor de K desde 1 hasta infinito (Rango normal de K), tiene escasa influencia en el nivel de intensidad con que se reciben las señales, cuando el trayecto se ha proyectado en forma adecuada.

Las anomalías de propagación ocurren cuando K es inferior a 1, el trayecto podría quedar obstruido y por lo tanto seria vulnerable a los fuertes desvanecimientos provocados por el efecto de trayectos múltiples.

Cuando K forma un valor negativo, el trayecto podría resultar atrapado entre capas atmosféricas y en consecuencia seria susceptible a sufrir desvanecimiento total.

DESVANECIMIENTO

El desvanecimiento se debe normalmente a los cambios atmosféricos y a las reflexiones del trayecto de propagación al encontrar superficies terrestres o acuáticas.

La intensidad del desvanecimiento aumenta en general con la frecuencia y la longitud de trayecto.

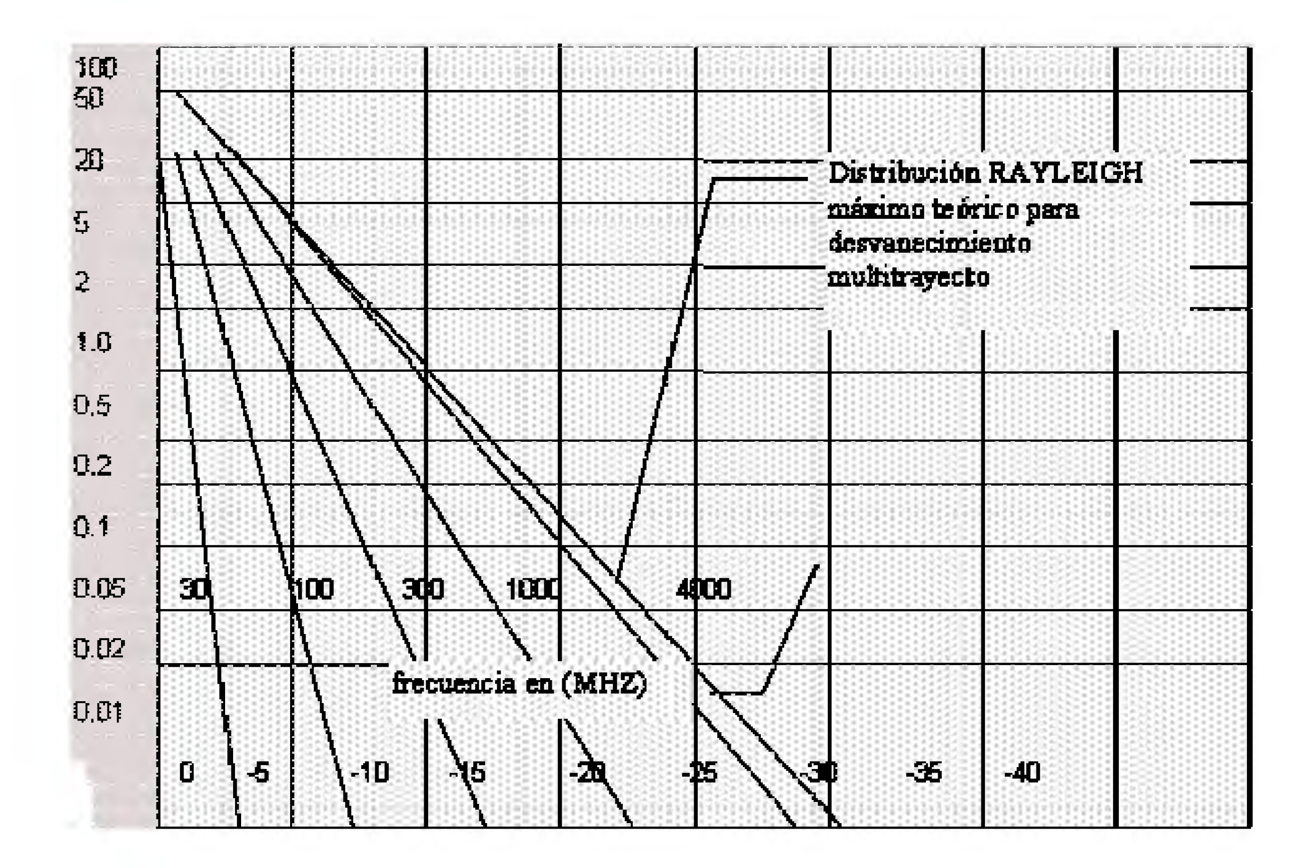
En caso de transmisión sobre terreno accidentado, el desvanecimiento debido a propagación multrayecto es relativamente independiente del citado margen sobre obstáculo y en casos extremos tiende a aproximarse a la distribución de Rayleigh, es decir, la probabilidad de que el valor instantáneo del campo supere el valor R es :

$$P(R) = e^{-R/R0}$$

En donde: Ro es el valor eficaz.

En la figura se presentan valores típicos de desvanecimiento para trayectos con suficiente margen sobre obstáculos.

Los tipos de desvanecimiento que influye sobre la contabilidad de la propagación en los sistemas de microondas son selectivos y no selectivos.



Desvanecimiento en el peor mes para trayectos de 40 a 60 Kms con visibilidad y margen sobre obstáculos de 15 a 30 m.

5. CONFIABILIDAD DE SISTEMAS DE RADIOTRANSMISION POR MICRO-ONDAS

Las normas de seguridad de funcionamiento de los sistemas de microondas han alcanzado gran rigidez. Por ejemplo, se utiliza un 99.98% de confiabilidad general en un sistema patrón de 6000 Km. de longitud, lo que equivale a permitir solo un máximo de 25 segundos de interrupción del año por cada enlace.

Por enlace o radioenlace se entiende el tramo de transmisión directa entre dos estaciones adyacentes, ya sean terminales o repetidoras, de un sistema de microondas. El enlace comprende los equipos correspondientes de las dos estaciones, como así mismo las antenas y el trayecto de propagación entre ambas. De acuerdo con las recomendaciones del CCIR, los enlaces, deben tener una longitud media de 50 Km.

Las empresas industriales que emplean sistemas de telecomunicaciones también hablan de una confiabilidad media del orden de 99.9999%, o sea un máximo de 30 segundos de interrupciones por año, en los sistemas de microondas de largo alcance.

Los cálculos estimados y cómputos de interrupciones del servicio por fallas de propagación, emplean procedimientos parcial o totalmente empíricos. Los resultados de dichos cálculos generalmente se dan como tiempo fuera de servicio (TFS) anual por enlace o porcentaje de confiabilidad por enlace.

ANTENAS

Tema 5

ANTENAS UTILIZADAS EN LAS DISTINTAS BANDAS DE FRECUENCIAS

5. Antenas utilizadas en las distintas bandas de frecuencias

1. Antenas cilíndricas.
2. Antenas para ondas larga y media.
3. Antenas para ondas cortas.

5.2. Antenas cilíndricas (I)

- Estudio de antenas lineales hecho para antenas eléctricamente delgadas.
- Impedancia de entrada.

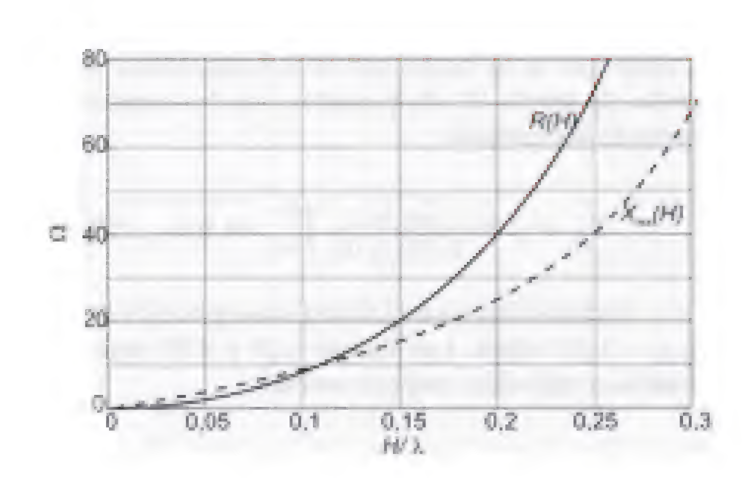
$$Z_e = j30\frac{I_m^2}{I(0)^2}\int_{-h}^{h} \operatorname{sen}k(h-|z|)\left[\frac{e^{-jkR_1}}{R_1}+\frac{e^{-jkR2}}{R2}-2\cos kh\frac{e^{-jkr}}{r}\right]dz$$

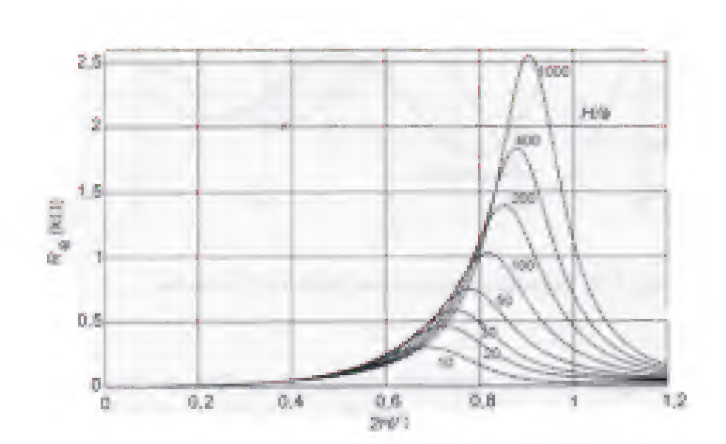
$$R_1 = \sqrt{(h-z)^2 + a^2}$$

$$R_2 = \sqrt{(h+z)^2 + a^2}$$

$$r = \sqrt{a^2 + z^2}$$

5.2. Antenas cilíndricas (II)

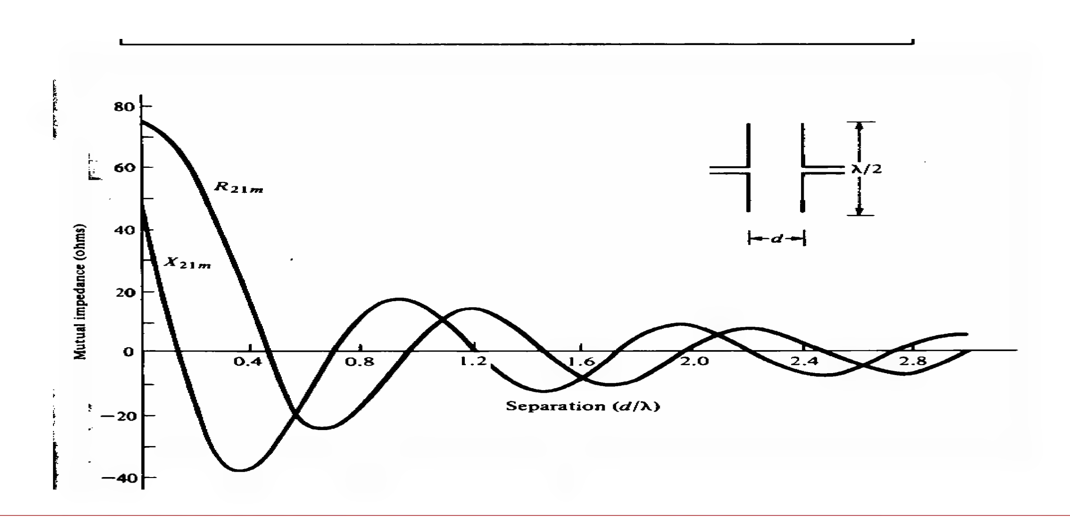




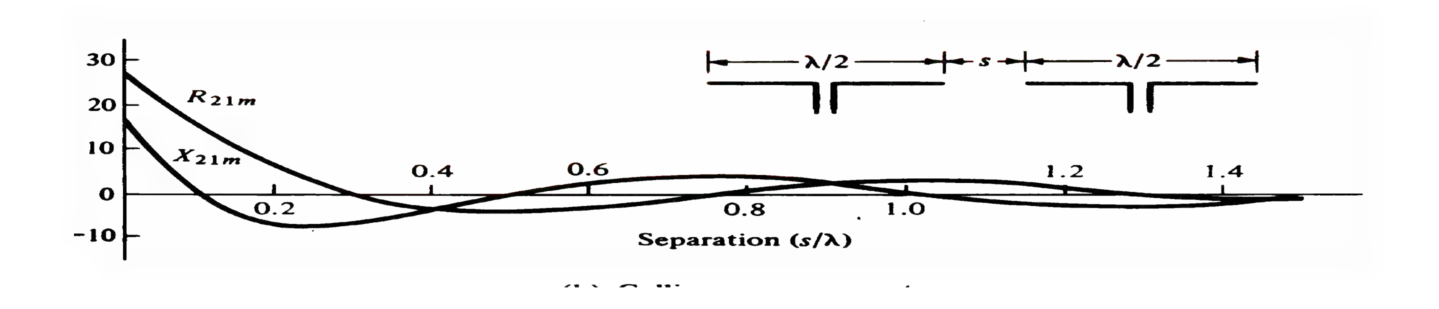
5.2. Antenas cilíndricas (III)

- Impedancia mútua.

$$Z_{21} = j30 \frac{I_{m1}^2 I_{m2}^2}{I_1(0)^2 I_2(0)^2} \int_{-h_2}^{h_2} \operatorname{senk}(h_2 - |z|) \left[\frac{e^{-jkR_1}}{R_1} + \frac{e^{-jkR2}}{R2} - 2\cos kh_1 \frac{e^{-jkr}}{r} \right] dz$$



5.2. Antenas cilíndricas (IV)

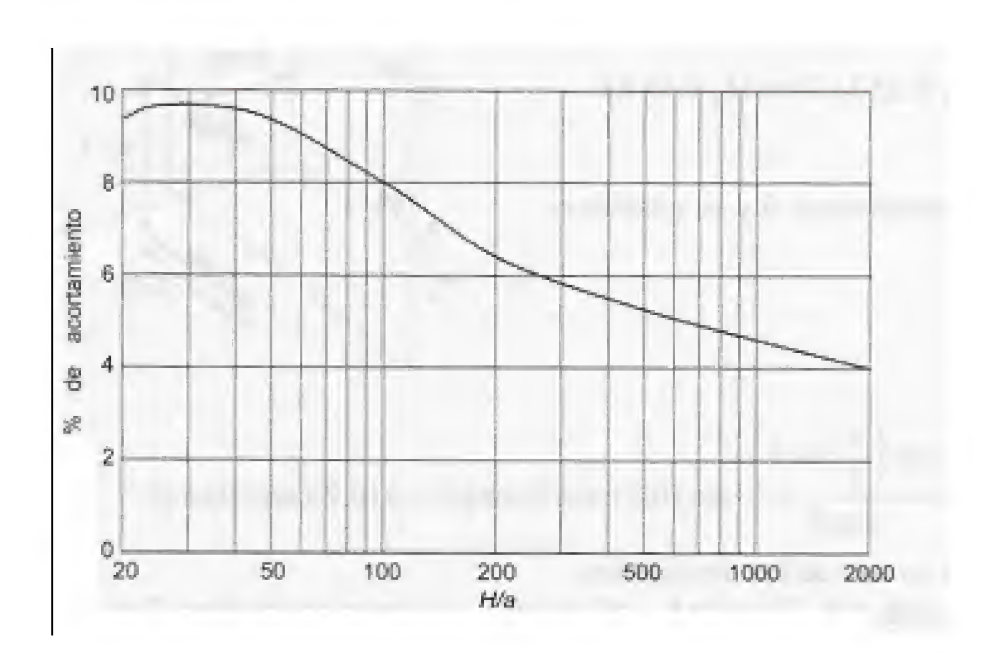


- Impedancia de la antena.

$$Z_i = Z_{ii} + \sum_j Z_{ij}$$

5.2. Antenas cilíndricas (V)

- Factor de acortamiento.



5.3 Antenas para ondas larga y media (I)

- Bandas de frecuencias:
  - Onda larga (LF): 30 – 300 kHz.
  - Onda media (MF): 0,3 – 3 MHz.
- Servicios de radiocomunicación:
  - Onda larga:
    - Ayudas a la navegación aérea y marítima.
    - Radio guía.
  - Onda media:
    - Radiodifución AM.
    - Servicios marítimos
- Propagación:
  - Onda de superficie.
  - Reflexión ionosférica.

5.3 Antenas para ondas larga y media (II)

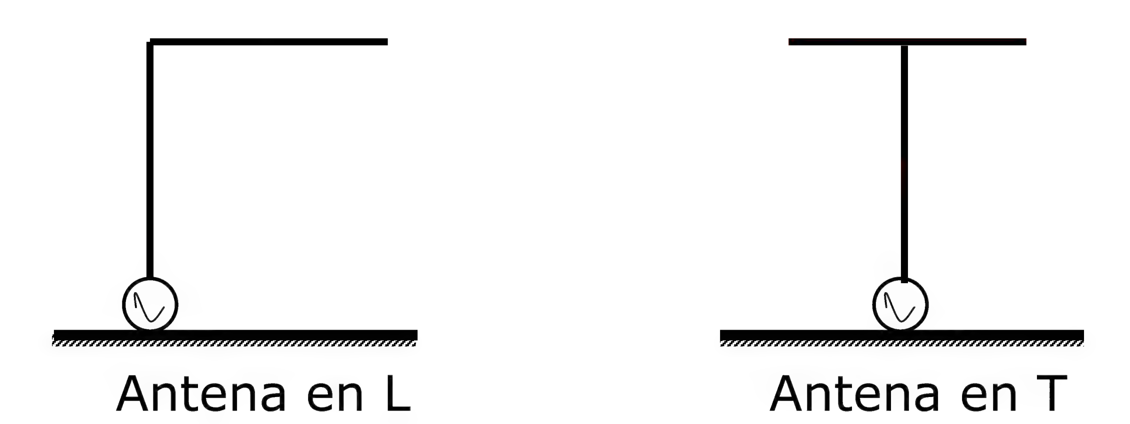
- ANTENAS TRANSMISORAS.
  - ***Monopolo vertical con plano de tierra.***
    - Polarización vertical.
    - Máximo de radiación en superficie de la tierra (ligeramente elevado).
    - Rendimiento muy bajo.
      - Rrad de mΩ a pocos Ω.
      - Rp de 1 Ω.
      - Gran corriente en la antena para garantizar potencias aceptables.
      - Pequeño amortiguamiento que a estas frecuencias da una banda pasante estrecha en onda larga.

5.3 Antenas para ondas larga y media (III)

- Mejora de características.
  - Complementar el dipolo con conductores horizontales o inclinados.
  - Conductores y tierra forman una capacidad considerable.
  - Carga capacitiva aproxima la altura efectiva a la geométrica.
    - Aumenta la resistencia de radiación.
    - Aumenta el rendimiento (hasta 30% en onda larga y hasta 75-85% en onda media).
    - Disminuye la impedancia característica de la antena $\Rightarrow$ aumenta el amortiguamiento $\Rightarrow$ ensanchamiento de la banda pasante.
  - Disminución de la corriente y aumento de la capacidad reducen el peligro de ruptura.

5.3 Antenas para ondas larga y media (IV)

- ***Antenas en L y en T.***



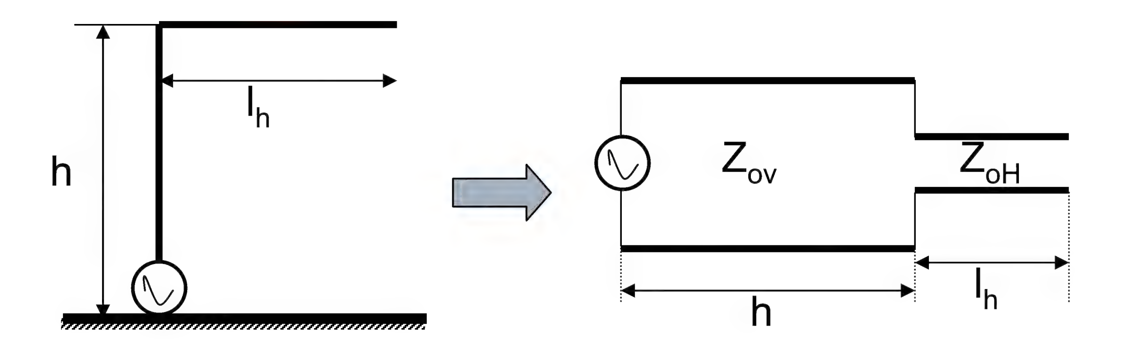
  - Conductor vertical = *BAJADA.*
  - Conductor horizontal o inclinado = *TECHO DE ANTENA.*

5.3 Antenas para ondas larga y media (V)

- Pérdidas de la antena.
  - Definidas principalmente por las pérdidas en la tierra.
  - Resistencia de pérdidas (Shuleikin):Rp = A.(λ/ λo).
    - Rp = resistencia de pérdidas.
    - λ = longitud de onda correspondiente a la frecuencia de trabajo.
    - λo = longitud de onda correspondiente a la frecuencia de resonancia de la antena.
    - A = coeficiente dependiente de la calidad de la toma de tierra, con valores comprendidos entre 0,5 y 2 Ω para una buena de tierra, entre 2 y 4 Ω para una toma de tierra mediocre, y entre 4 y 7 Ω para una mala toma de tierra.

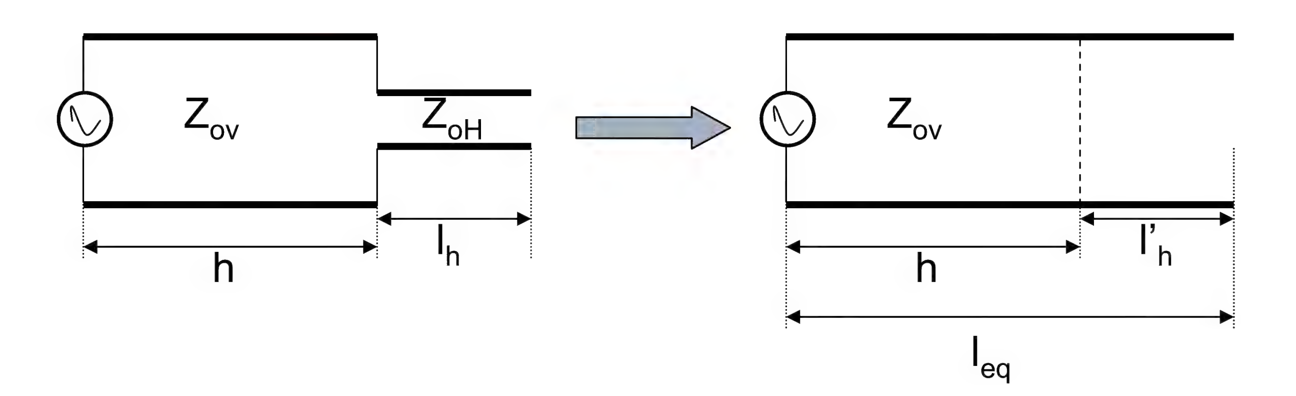
5.3 Antenas para ondas larga y media (VI)

- Condiciones de resonancia de antenas en T o en L.
  - Sustituir la antena por una línea no homogénea equivalente.



5.3 Antenas para ondas larga y media (VII)

- Sustituir la línea no homogénea equivalente por una línea homogénea (la antena equivale a un monopolo vertical de impedancia característica Z_{oV} sin parte superior y con longitud l_{eq}).



$$-j.Z_{oH}.\text{cotg}(k.l_h) = -j.\,Z_{oV}.\text{cotg}(k.l'_h)$$

5.3 Antenas para ondas larga y media (VIII)

- ***Antenas cargadas.***
  - Importancia de la relación entre λ del generador y λ_o resonante de la antena y sus armónicos.
    - Análisis del monopolo vertical con plano de tierra y sin carga capacitiva.
  - Caso 1: ANTENA SINTONIZADA.
    - $\lambda = \lambda_O \Rightarrow h = \lambda_o/4$.
      - Ajuste a armónicos ($h=3\lambda/4$, $5\lambda/4$, ...) desfavorable en la práctica.
    - Monopolo de cuarto de onda $\Rightarrow I_o = I_{máx}$.

5.3 Antenas para ondas larga y media (IX)

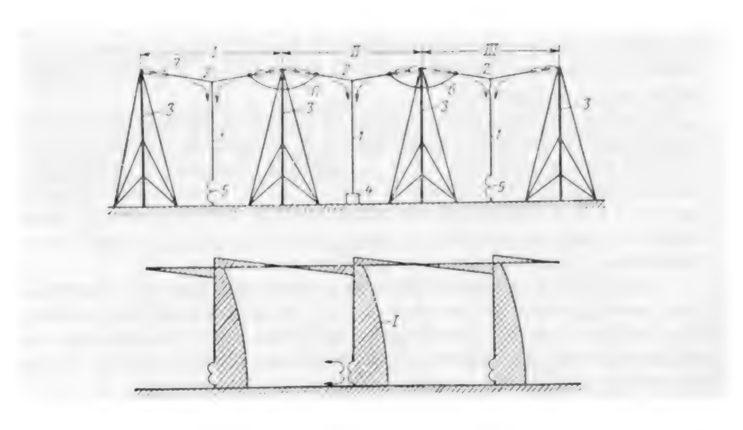
- Caso 2: ANTENA CON $h < \lambda/4$.
  - $\lambda > \lambda_o \Rightarrow h = \lambda_o/4$.
  - $I_o < I_{máx}$.
  - Componente reactiva de la impedancia:
    $X_e = -Z_{o\ ant}.cotg(k.l) = -Z_{o\ ant}.cotg(\pi\lambda_o/2\lambda) < 0$
    - Aumentar $I_o \Rightarrow$ ajustar la antena para que resuene con una *bobina de sintonía* L_{sint} de forma que $\omega L_{sint} + X_e = 0$.
    - Bobina de sintonía situada entre generador y antena.
    - "Alargamiento" de la antena desde λ_o hasta λ.

5.3 Antenas para ondas larga y media (X)

- Caso 3: ANTENA CON $h > \lambda/4$.
  - $\lambda < \lambda_o \Rightarrow h = \lambda_o/4$.
  - $I_o < I_{máx}$.
  - Componente reactiva de la impedancia:
    $X_e = -Z_{o\ ant}.\cotg(k.l) = -Z_{o\ ant}.\cotg(\pi\lambda_o/2\lambda) > 0$
    - Aumentar $I_o \Rightarrow$ ajustar la antena para que resuene con un *condensador de sintonía* C_{sint} de forma que $1/\omega C_{sint} + X_e = 0$.
    - Condensador de sintonía situado entre generador y antena.
    - "Acortamiento" de la antena desde λ_o hasta λ.

5.3 Antenas para ondas larga y media (XI)

- ***Antenas compuestas.***
  - Combinación de antenas tipo L y tipo T.
    - Elevan la resistencia de radiación.
    - Disminuyen la resistencia de la tierra.
    - Aumentan la capacidad de las antenas de ondas larga y media: rendimiento, máxima potencia radiada y banda pasante, creando cierta directividad de la radiación en el plano horizontal.

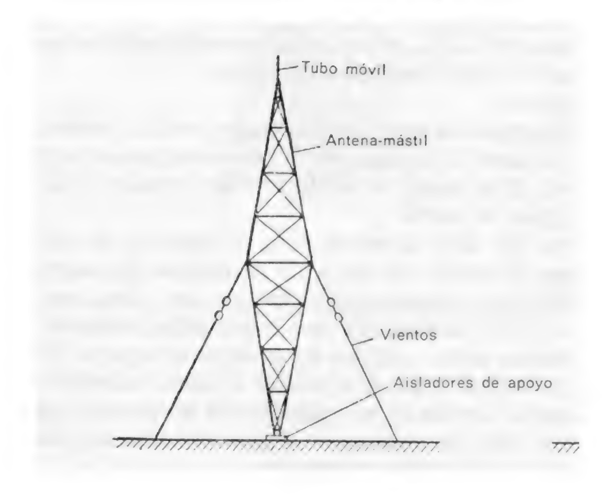


5.3 Antenas para ondas larga y media (XII)

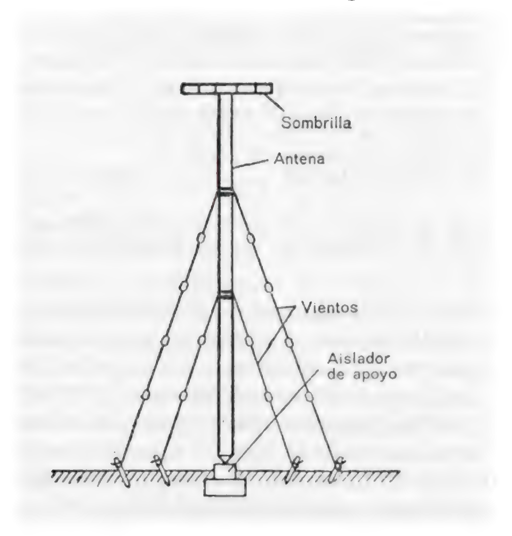
- ***Antenas antidesvanecimiento.***
  - Desvanecimiento próximo en antenas de onda media.
    - Ondas espacial y superficial de la misma intensidad $\Rightarrow$ 50 – 200 km de la antena transmisora.
      - Ondas espaciales emitidas con un ángulo de 55 – 75º
  - No emiten según ángulos superiores a los 55º con la superficie terrestre.
  - Diagramas de radiación "pegados a tierra" ejecutables para λ < 600 m.
  - Particularidades:
    1. h > $\lambda/2$.
    2. Tensión en la base de la antena próxima a su valor máximo.
       - Por el aislador que sirve de soporte al mástil pasan grandes corrientes capacitivas.
       - Se disminuyen las pérdidas uniendo el aislador-soporte con una toma de tierra a través de una pantalla metálica de grandes proporciones.
    3. Carece de techo de antena (parte superior horizontal) ya que ésta emitiría activamente y se deformaría el diagrama de radiación.
    4. No situarla cerca del edificio de la estación de radio, pues se deformaría su diagrama de radiación.
    5. La antena se conecta al transmisor mediante una línea de alimentación.

5.3 Antenas para ondas larga y media (XIII)

Antena-mástil
de sección variable



Antena-mástil
de sección fija



5.3 Antenas para ondas larga y media (XIV)

- ANTENAS RECEPTORAS.
  - Antenas abiertas: no direccionales.
    - Monopolo vertical tipo L.
    - Monopolo vertical tipo T.
    - Antena tipo "conductor radial inclinado".
  - Antenas cerradas: propiedades direccionales.
    - Antenas de cuadro.
    - Goniómetros.
  - Antenas mixtas: permiten la recepción unidireccional.
    - Antena cardioide.

5.3 Antenas para ondas larga y media (XV)

- ***Antenas abiertas.***
  - f.e.m. inducida en una antena vertical tipo L o tipo T: $\varepsilon_A = E_T.h_{ef}$
  - f.e.m. inducida en una antena tipo "conductor radial inclinado":

$$\varepsilon'_A = \varepsilon_A.\cos \xi$$

(ξ es el ángulo formado por el conductor inclinado con respecto a la vertical).

  - Antena receptora de estructura más sencilla que la transmisora correspondiente.

5.3 Antenas para ondas larga y media (XVI)

- ***Antenas de cuadro.***
  - Analizadas como antenas formadas por un filamento de corriente.
  - Características:
    1. Propiedades direccionales en el plano horizontal (plano en el que se sitúa la espira).
    2. Resistencia de radiación de una espira circular de radio a: $Rrad = 20.\pi^2.(k.a)^4$
    3. Resistencia de pérdidas de una espira circular de radio a y diámetro b del conductor: $Rp = a/(b.\sigma.\delta)$

    (δ es la profundidad de penetración, $\delta = (\omega.\mu.\sigma)^{-1/2}$).

    4. Inductancia de una espira de radio a y diámetro b del conductor: $L = \mu.a.[\ln(8a/b)-2]$

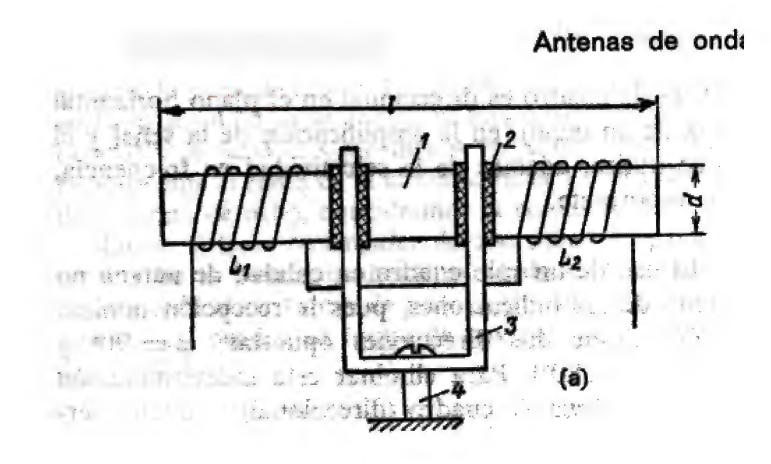
(Para antenas de cuadro formadas por N espiras es $Rrad(N\ espiras)=N^2.Rrad(1\ espira)$).

5.3 Antenas para ondas larga y media (XVII)

- ***Goniómetros.***
  - Determinan la ubicación de una estación de radio.
  - Utilizan las propiedades directivas de las antenas de cuadro para disminuir la influencia del ruido y determinar la dirección de una estación de radio.
    - El plano del cuadro se coloca perpendicularmente a la dirección del ruido ⇒ el ruido no influye en la radiorrecepción.
    - Se gira el cuadro hasta obtener la máxima f.e.m. inducida ⇒ se establece la dirección de la estación de radio.
  - Normalmente la localización con antenas de cuadro se lleva a cabo según el mínimo de recepción (más agudo que el máximo).
    - Las antenas de cuadro han de ser simétricas (los dos conductores verticales han de tener la misma capacidad con respecto a tierra).

5.3 Antenas para ondas larga y media (XVIII)

- ***Antenas cargadas con ferritas.***

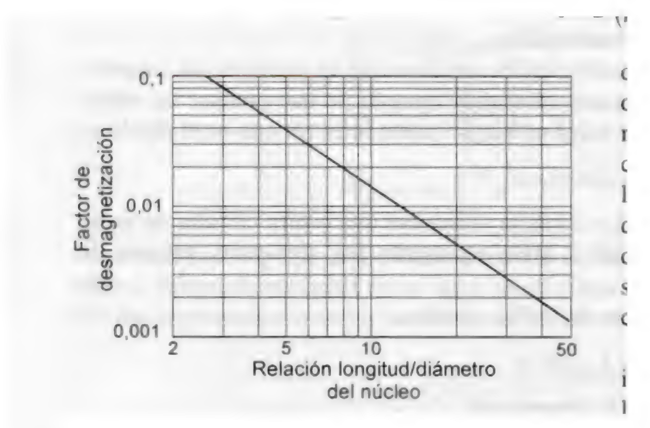


1. Barra de ferrita con devanado.
2. Amortiguador de goma.
3. Abrazadera.
4. Soporte de fijación al chasis del receptor.

  - Núcleo de ferrita de elevada permeabilidad dentro del cuadro multiespira.

5.3 Antenas para ondas larga y media (XIX)

- Introducir material magnético en la espira ⇒ aumenta intensidad de campo magnético y de flujo a su través ⇒ aumenta la f.e.m. inducida en la espira.
  - Permeabilidad efectiva de la ferrita (μ_e): $\mu_e = \mu_f / [1+D.(\mu_f - 1)]$.



D es el factor de desmagnetización.

μ_f es la permeabilidad magnética de la ferrita aislada

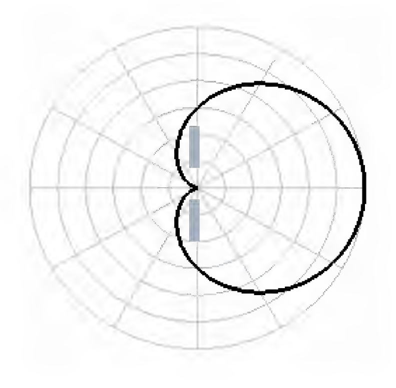
$$Rrad_{\text{ferrita N vueltas}} = Rrad_{\text{espira}}.(N.\mu_e)^2$$

Aumento de la resistencia de radiación ⇒ aumento de la longitud efectiva de la antena de cuadro ⇒ aumento de la f.e.m. inducida. Aumento de la resistencia de radiación ⇒ aumento de la longitud efectiva de la antena de cuadro ⇒ aumento de la f.e.m. inducida.

  - La antena se sintoniza a la frecuencia portadora de la estación emisora.
  - Montando la barra magnética y el devanado de forma que giren alrededor de un eje, las características direccionales del cuadro hacen que se utilice selectividad espacial.

5.3 Antenas para ondas larga y media (XX)

- ***Antenas cardioide.***
  - Combinación de una antena de cuadro (direccional) y un monopolo vertical (no direccional) paralelas.
    - Evita indeterminación de direcciones máxima (o mínima) producida al usar antenas de cuadro.
    - Diagrama de radiación tipo cardioide: 1+ cos ξ.



5.4. Antenas para ondas cortas (I)

- Bandas de frecuencias:
  - HF: 3 – 30 MHz.
- Servicios de radiocomunicación:
  - Telefonía
  - Telegrafía
  - Banda ciudadana
  - Comunicaciones mar-tierra
  - Comunicaciones mar-aire
- Propagación:
  - Onda de superficie (pequeñas distancias)
  - Reflexión ionosférica (grandes distancias).

5.4. Antenas para ondas cortas (II)

- Consideraciones generales.
  - En OC puede conseguirse una relación l/λ lo bastante grande para que
    - Resistencia de radiación grande.
      - Bande de paso suficiente para reproducir con calidad las señales a transmitir.
      - Disminuye la probabilidad de sobretensión en la antena.
      - Elevado rendimiento.
    - Al aumentar l con respecto a λ se estrecha el lóbulo principal del diagrama de radiación.
      - Antenas de OC direccionales muy eficaces.
      - Aumento del nivel de la señal.
      - Debilitar la interferencia que produce *fading*.

5.4. Antenas para ondas cortas (III)

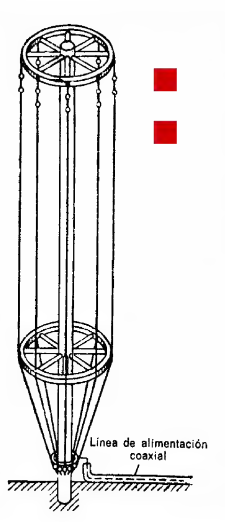
- Condiciones a satisfacer por el diagrama de radiación:
  1. Diagrama constante para una amplia banda.
     - Por condiciones de propagación se hace preciso variar a menudo la λ de trabajo $\Rightarrow$ *antenas aperiódicas*.
  2. Los lóbulos laterales y posterior se han de reducir al mínimo.
     - Gran posibilidad en OC de interferencia entre ondas recibidas de distintas direcciones.
  3. La dirección de radiación (o captación) máxima se determina con el menor número de reflexiones en la ionosfera y en la tierra.
     - Cada salto va acompañado de una pérdida de energía.
     - A las "líneas de comunicación" a gran distancia corresponden menores ángulos de elevación del haz.
  4. Efecto direccional de la antena no demasiado grande.
     - La inestabilidad de la ionosfera no deje fuera de la acción de la antena receptora a la onda emitida.
     - Abertura del ángulo del diagrama de directividad en el plano horizontal no menor de 4 – 6º.
     - Abertura del ángulo del diagrama de directividad en el plano vertical no menor de 10º.

5.4. Antenas para ondas cortas (IV)

4. Debilitar la captación de fuentes de ruidos industriales situadas en tierra.
   - Máximo del diagrama de radiación de la antena receptora no debe estar cerca de la superficie terrestre.
     - Utilizar dipolos horizontales y no verticales.
5. Debilitar el desvanecimiento por distancia.
   - Sistema de distribución de antenas conectadas a receptores individuales con salida común
     - Si se debilita por desvanecimiento el campo de una antena se compensa con la amplificación del campo por las demás.
     - La intensidad de la recepción en el dispositivo de salida común es casi constante.

5.4. Antenas para ondas cortas (V)

- ***Monopolos***
  - Carece de propiedades direccionales en el plano horizontal.
  - Tiene una pequeña directividad en el plano vertical.
  - Dirección de máxima radiación coincide con la superficie de la tierra de conductividad ideal.
    - Se eleva poco para tierra de conductividad finita.
  - Sólo garantiza la comunicación en distancias pequeñas.
  - Se sitúa a notable distancia del transmisor (receptor).
    - Necesidad de línea de alimentación.
    - Adaptación efectiva antena-línea de alimentación.
      - No se consigue adaptación plena.
        - Disminuir la impedancia característica de la antena ⇒ nivelar las variaciones de la impedancia de entrada con la frecuencia.
        - Uso de monopolos con impedancia característica disminuida. L impedancia característica de la antena se consigue con la acertac elección del diámetro del cilindro.



5.4. Antenas para ondas cortas (VI)

- ***Antena dipolo.***
  - Antena débilmente direccional.
  - Puede funcionar en una longitud de onda fija o en una banda de frecuencias.
  - Se coloca horizontalmente.
  - Diagrama de radiación ha de permanecer inalterable para la banda de frecuencias de trabajo o, por lo menos, en las direcciones de máxima radiación y recepción.
    - Dipolo colocado perpendicularmente a la dirección en el punto de enlace.
    - $0{,}8\ \ell < \lambda < 2{,}5\ \ell$.
      - Longitud de onda mínima para cumplir condiciones de inalterabilidad.
      - Longitud de onda máxima limitada por la adaptación antena-línea de alimentación.
        - Para frecuencia de trabajo fija con una ROE > 7 – 10 la variación de las condiciones meteorológicas altera la impedancia de entrada de la antena $\Rightarrow$ desadaptación.
        - ROE especialmente elevada con $\lambda > 2{,}5\ \ell \Rightarrow$ resistencia de radiación pequeña y la parte reactiva de la impedancia de entrada aumenta con la desintonía.

5.4. Antenas para ondas cortas (VII)

- Altura de suspensión se elige en función de:
  - Diagrama de directividad del dipolo en el plano vertical.
  - Ángulo de inclinación (δ) recomendado.
- Diagrama de radiación normalizado (téngase en cuenta que es un dipolo horizontal en presencia de un plano de tierra):

$$\frac{\cos(k\frac{\ell}{2}\cos\delta)-\cos(k\frac{\ell}{2})}{\mathrm{sen}\delta}\cdot \mathrm{sen}(kh\,\mathrm{sen}\delta)$$

  - δ = ángulo de inclinación del haz; ℓ = longitud del dipolo; h = altgura del dipolo sobre el suelo.
  - Máximo de inclinación corresponde a ángulos de inclinación de los haces

$$\delta_{max} = \mathrm{arcsen}\left(\frac{(2n+1)\lambda}{4h}\right)$$

5.4. Antenas para ondas cortas (VII)

- Conociendo la dirección de la onda emitida (δ_{max}) y la altura de la capa ionizada (H), la distancia entre las estaciones transmisora y receptora (r) para una sola reflexión en la ionosfera es

$$r = \frac{8Hh\sqrt{1 - \frac{\lambda^2}{16h^2}}}{\lambda}$$

  - Siendo invariable la longitud de onda el dipolo debe colocarse lo más alto posible cuanto mayor se desee tener la distancia de comunicación.
  - En condiciones reales el dipolo se coloca a una altura de $0{,}25\lambda$ (comunicaciones cercanas, hasta 250 km) a $0{,}65\ \lambda$ (comunicaciones lejanas, hasta 1500 km).

5.4. Antenas para ondas cortas (IX)

- Diagramas de radiación típicos:

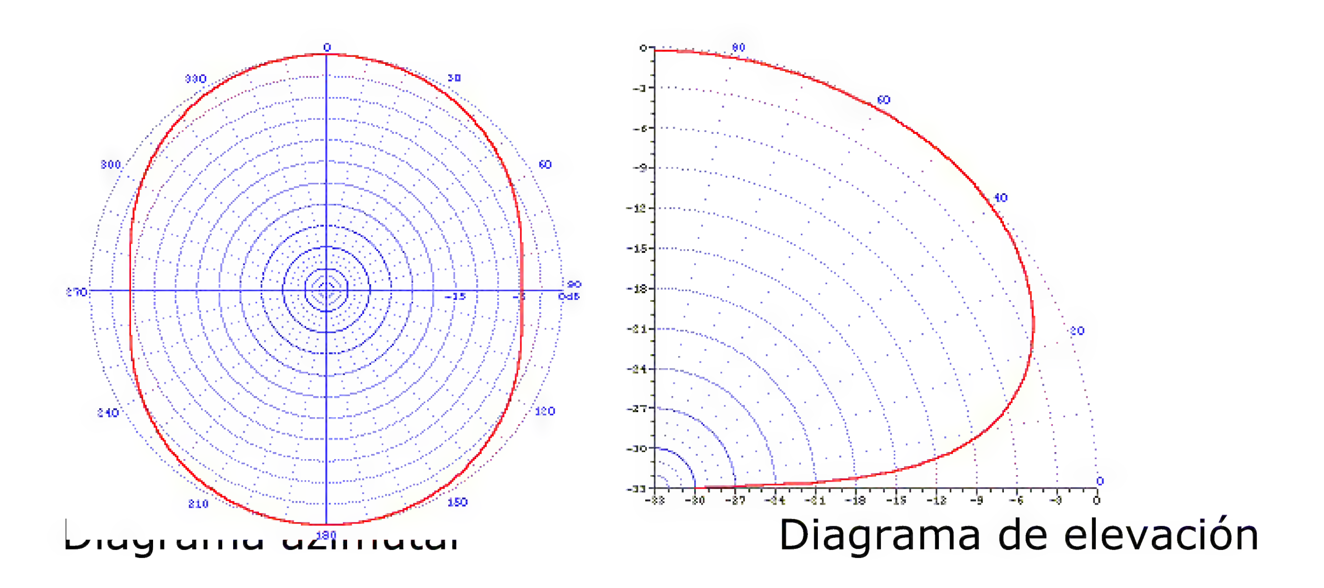


Diagrama de elevación

5.4. Antenas para ondas cortas (X)

- Estructuras típicas del dipolo horizontal:

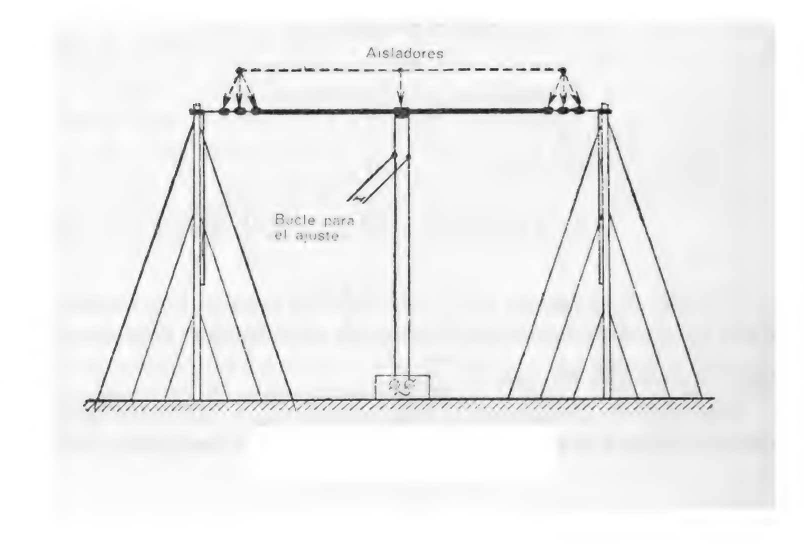
• Dipolo de media onda: Ze=Re= 73,1 ohmios.

• Dipolo de longitud igual a la longitud de onda: Ze=Re= 3200 ohmios.

• Impedancia característica de la línea de alimentación: 400 – 600 ohmios.

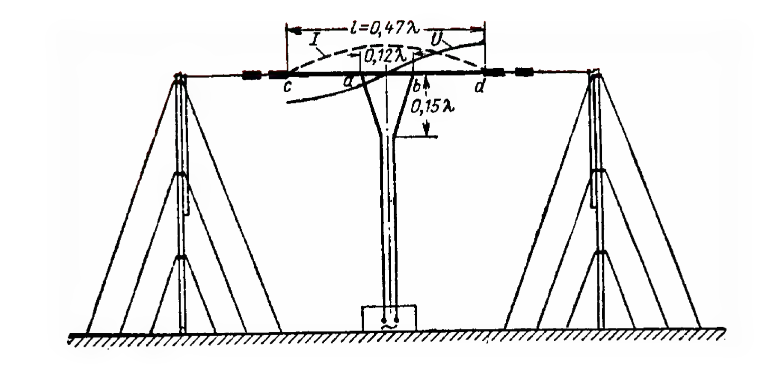
• ROE elevada ⇒ se necesita elemento adaptador (stub).

•Se admite una impedancia característica para el dipolo de 800 ohmios.



5.4. Antenas para ondas cortas (XI)

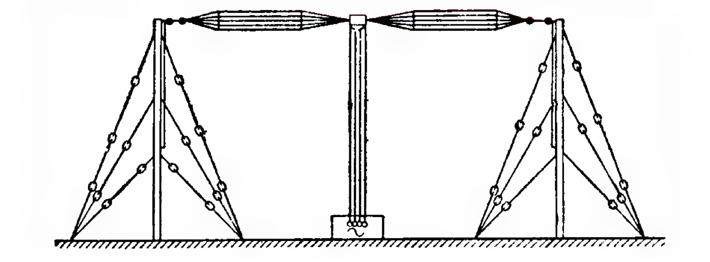
- ALIMENTACIÓN PARALELA.
- ℓ = 0,47λ (considerando el factor de acortamiento.
- Re(punto medio)=0.
- Re(c-d)= 8750 ohmios.
- Conectar alimentación a puntos a-b: Re(a-b)= impedancia característica de la línea de alimentación.
- Al trabajar en una banda la adaptación empeora al apartarnos de λ
- Antena como circuito resonante paralelo.



$$Re = \frac{Z_{0A}^2}{Re(a-b)} = \frac{Z_{0A}^2}{73{,}1} sen^2(kd_{a-b})$$

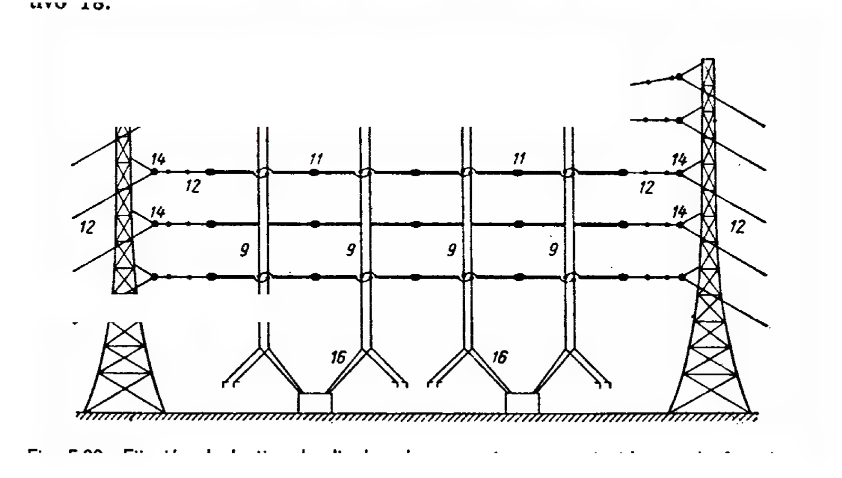
5.4. Antenas para ondas cortas (XII)

- DIPOLO DE NADENENKO.
  - 6 – 8 conductores paralelos montadas sobre anillas de hilo conductor formando un cilindro de radio 0,25 a 1 m.
  - Aumentar diámetro ⇒ disminuir impedancia característica a 250 – 300 ohmios ⇒ reducir variaciones de impedancia de entrada en caso de desintonía.
  - Alimentación con 4 conductores ⇒ impedancia característica de línea de alimentación de 200 – 300 ohmios ⇒ para λ de 0,8 a 2 longitudes del dipolo se tienen ROE de 2 - 2,22 ⇒ no se necesitan elementos adaptadores para que la antena sea aperiódica.
  - Alimentación con 2 conductores ⇒ utilizar adaptador en forma de línea exponencial intermedia.



5.4. Antenas para ondas cortas (XIII)

- **_Antenas de cortina._**
  - Agrupación bidimensional de dipolos horizontales.
  - Pueden o no utilizar reflector.
    - Reflector destinado a radiación (captación) unidireccional.
  - Permiten conseguir grandes directividades.



n filas, separadas λ/2

p columnas, separadas λ/2

$$FH\frac{n}{p}$$

5.4. Antenas para ondas cortas (XIV)

- Propiedades direccionales (agrupación en plano xz).
  1. En la dirección y, perpendicular al plano de la red de dipolos, la intensidad de campo es máxima y np veces mayor que la intensidad de campo de un solo dipolo.
  2. El número de columnas define la anchura del haz azimutal, y el número de filas la anchura del haz en elevación.
  3. Una mayor altura vertical de la agrupación (comparada con λ) hace menor es la anchura entre nulos del diagrama de radiación y mayor el número de lóbulos laterales.
  4. El aumento del número total de dipolos de la agrupación aumenta su superficie y agudiza el lóbulo principal del diagrama espacial de radiación de la antena.

5.4. Antenas para ondas cortas (XV)

- Diagrama de radiación típico.

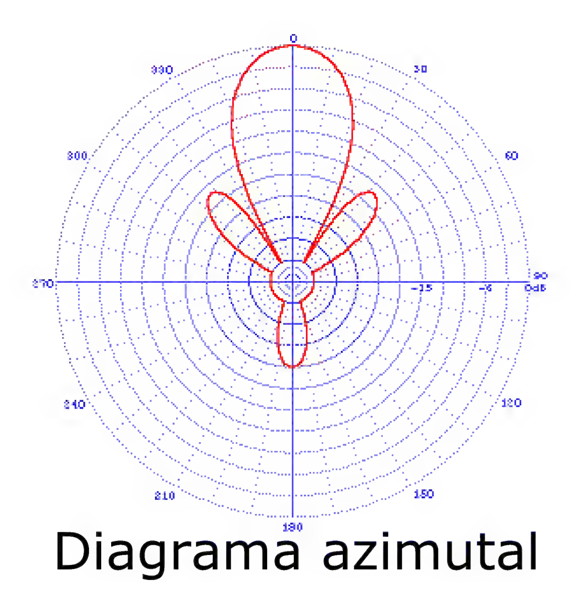


Diagrama azimutal

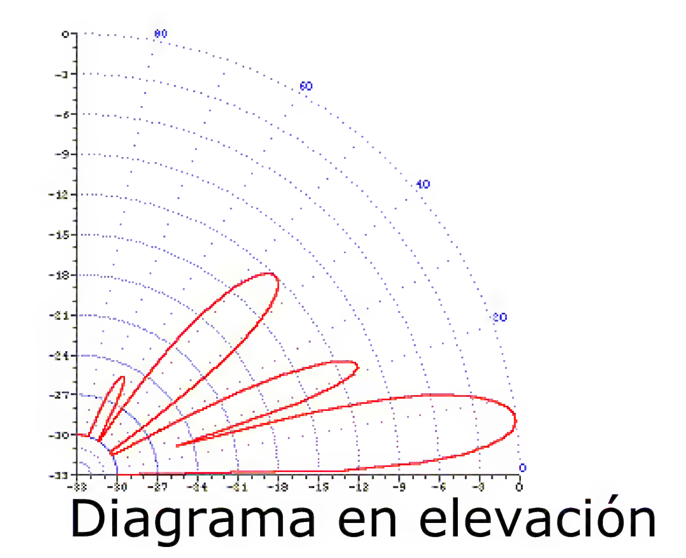
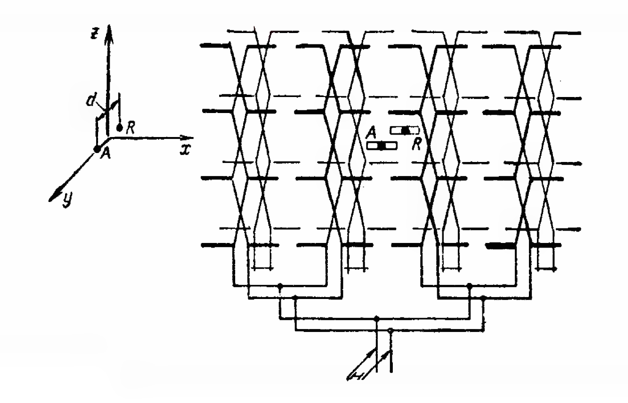


Diagrama en elevación

5.4. Antenas para ondas cortas (XVI)

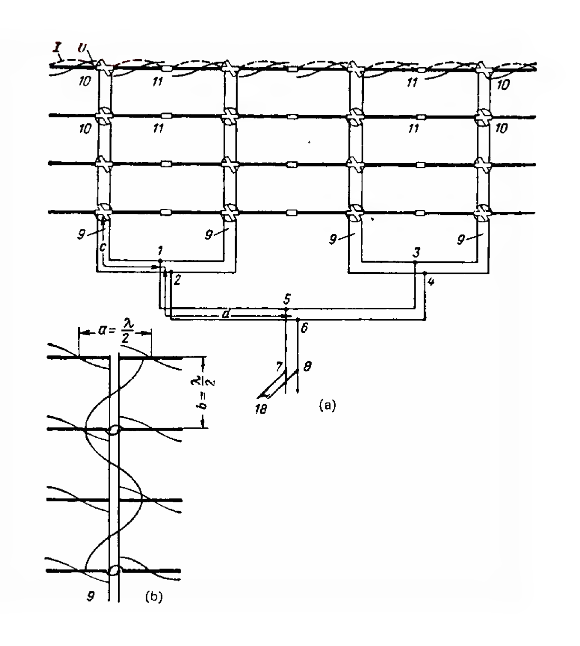
- Influencia del reflector sobre las propiedades direccionales.



- •Reflector obtiene un efecto unidireccional.
  - •REFLECTOR ACTIVO, alimentado por el mismo generador que alimenta a la agrupación principal.
  - •REFLECTOR PASIVO, alimentado por el campo electromagnético producido por la agrupación principal.
- •Estructura equivalente a un solo dipolo A y un único reflector R, colocados en el centro de sus correspondientes estructuras.
- •Diagramas tienen forma cardioide.
- •Distancia desde la antena al reflector < 0,25 $\lambda \Rightarrow$ máxima reflexión en los reflectores.

5.4. Antenas para ondas cortas (XVII)

- Alimentación y montaje.



•Los dipolos deben mantener en el espacio una disposición horizontal.

•El conjunto ha de fijarse rigurosamente.

•Distancias de λ/2 entre filas y entre los centros de los dipolos que forman cada una de ellas.

•Dipolos aislados unos de otros y del suelo.

•Excitación de los dipolos en fase y con igual amplitud de corriente.

•De una fila a otra los dipolos se conectan a los conductores opuestos ⇒ alimentación en fase de los elementos de la agrupación

•Adaptación de la línea de alimentación mediante un stub inductivo.

5.4. Antenas para ondas cortas (XVIII)

- Índices eléctricos fundamentales:
  - RESISTENCIA DE RADIACIÓN elevada (de cientos a miles de ohmios).
  - RENDIMIENTO no inferior al 95%.
  - Resistencia de entrada:

$$R_e = \frac{Z_{0A}^2}{R_{rad}}$$

- La tierra aumenta la ganancia directiva de 2 a 4 veces, según el número de filas y la conductividad de la tierra.
  - Banda de frecuencias de trabajo muy estrecha.
    - Desviación tolerable de la longitud de onda de resonancia ± 5%.
    - Limitaciones en el campo de aplicación de este tipo de antenas.

5.4. Antenas para ondas cortas (XIX)

- ***Antena bicónica.***
  - Línea de transmisión bicónica.
    - Características de banda ancha.
    - Modelo simple con alimentación en el vértice.
      - Solución TEM en la región entre los conos.
        - Resolver ecuaciones de Maxwell en simetría esférica.
        - Campo radiado de componente θ.

$$H_\phi = \frac{H_0}{r\,\mathrm{sen}\theta} \cdot e^{-jkr} \qquad -\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(rH_\phi\right) = j\omega\varepsilon E_\theta$$

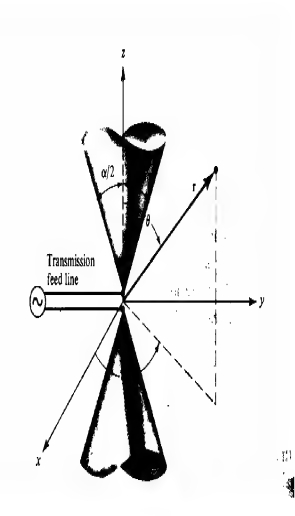
        - Impedancia característica (depende únicamente de la geometría):

$$Z_0(r) = \frac{V(r)}{I(r)} = \frac{2\eta . H_0 . e^{-jkr} . \ln\left(\cot g \frac{\alpha}{4}\right)}{2\pi . H_0 . e^{-jkr}} = 120 \ln\left(\cot g \frac{\alpha}{4}\right)$$

5.4. Antenas para ondas cortas (XX)

- La impedancia característica no es función de r $\Rightarrow$ representa la impedancia de entrada (en los bornes de entrada) de una estructura infinita.
  - En espacio libre:

$$Z_e = Z_0 = Re = 120 \ln\left(\cot g \frac{\alpha}{4}\right)$$



  - Para pequeños ángulos del cono:

$$Z_e \cong 120 \ln\left(\frac{4}{\alpha}\right)$$

  - Resistencia de radiación:

$$R_{rad} = 120 \ln\left(\cot g \frac{\alpha}{4}\right)$$

5.4. Antenas para ondas cortas (XXI)

- Antena bicónica tipo:

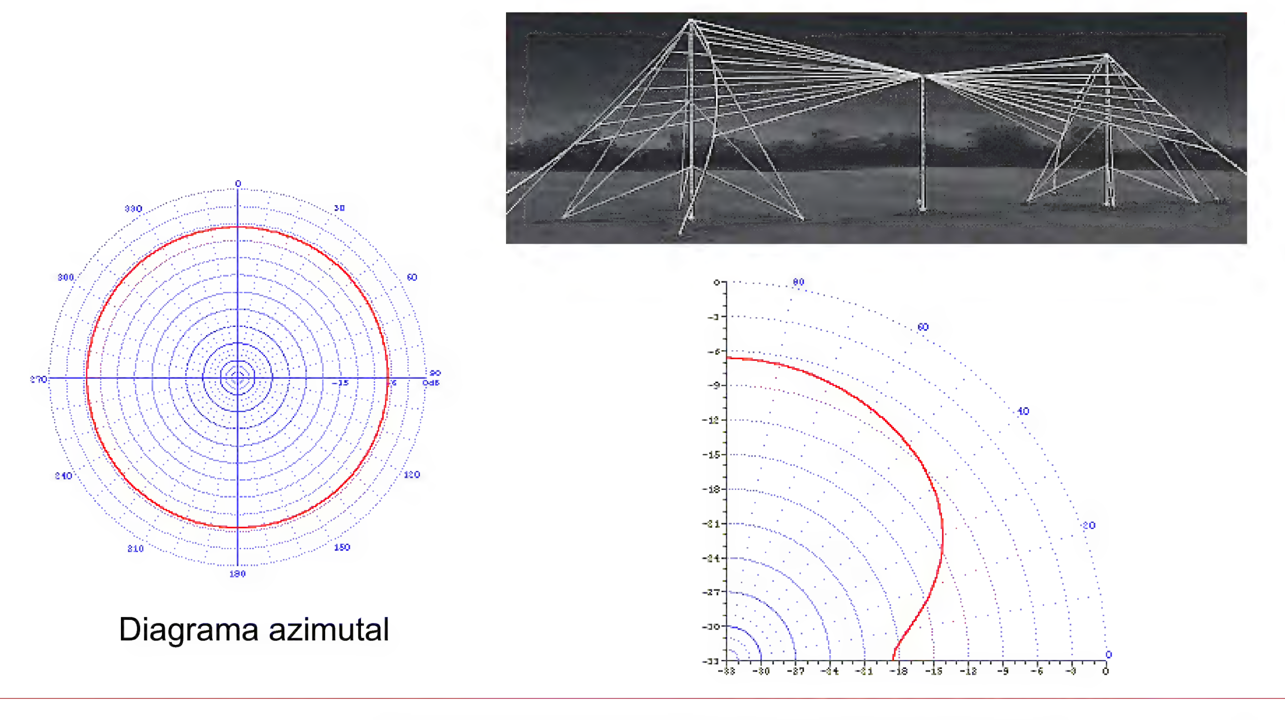


Diagrama azimutal

Diagrama en elevación

5.4. Antenas para ondas cortas (XXII)

- ***Monopolos de banda ancha.***

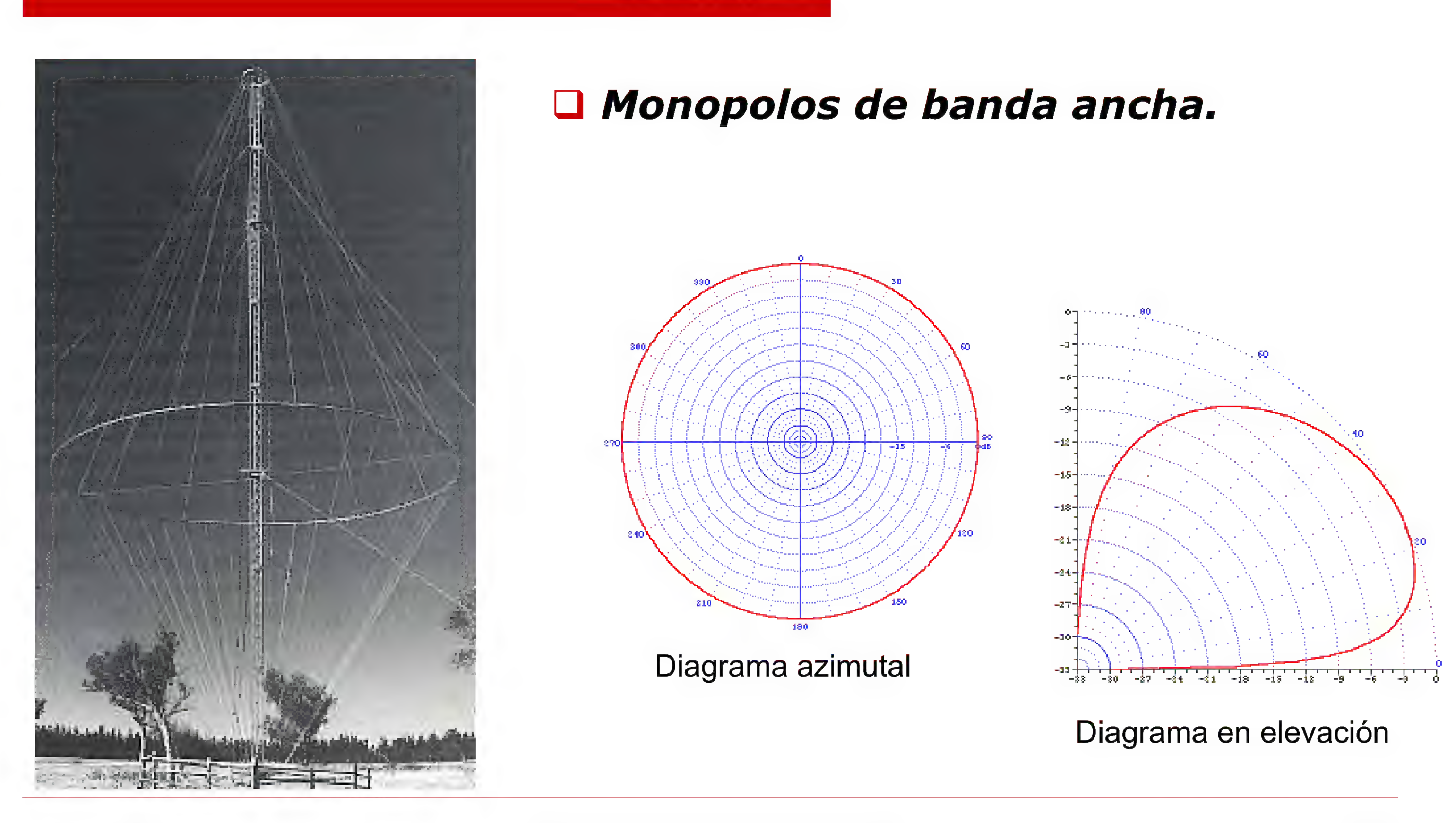


Diagrama azimutal

Diagrama en elevación

5.4. Antenas para ondas cortas (XXIII)

- ***Antenas en L invertida.***

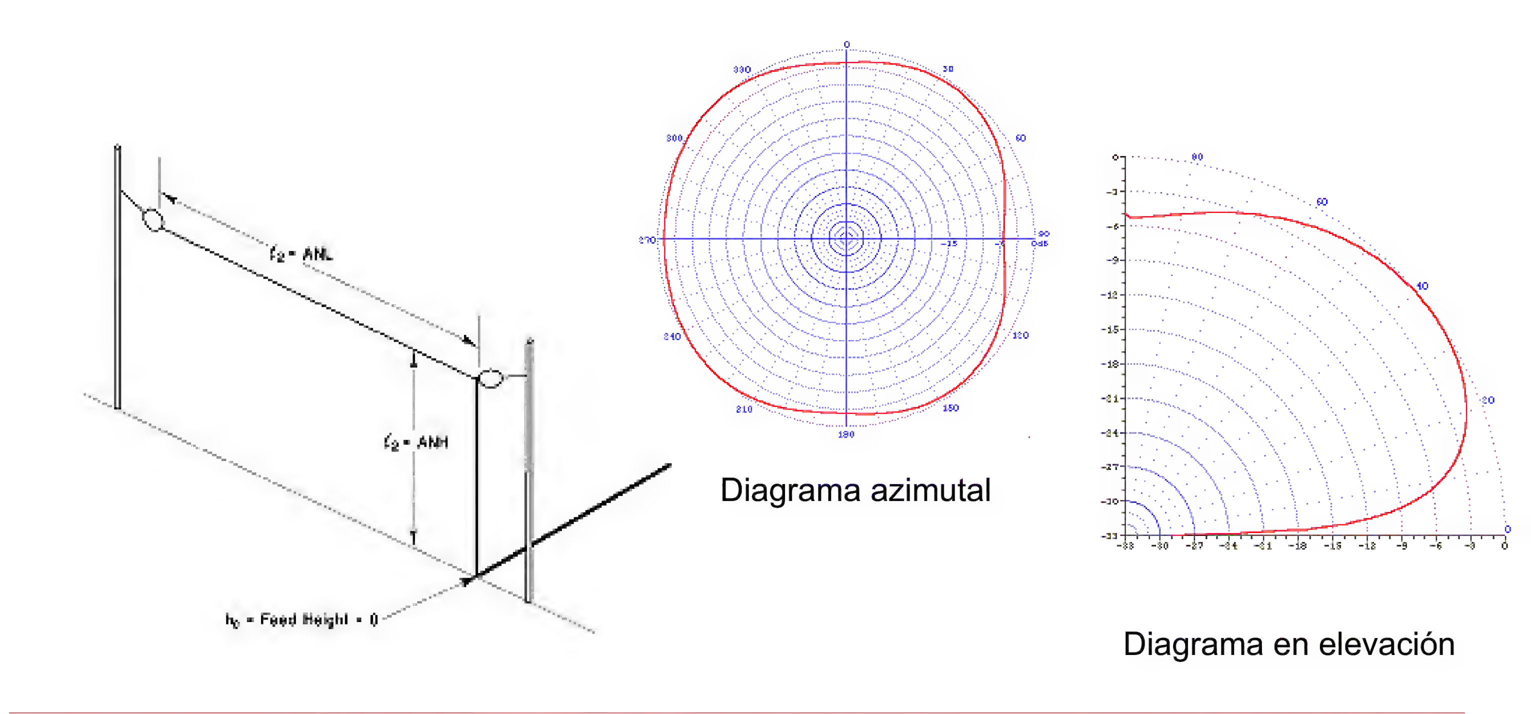
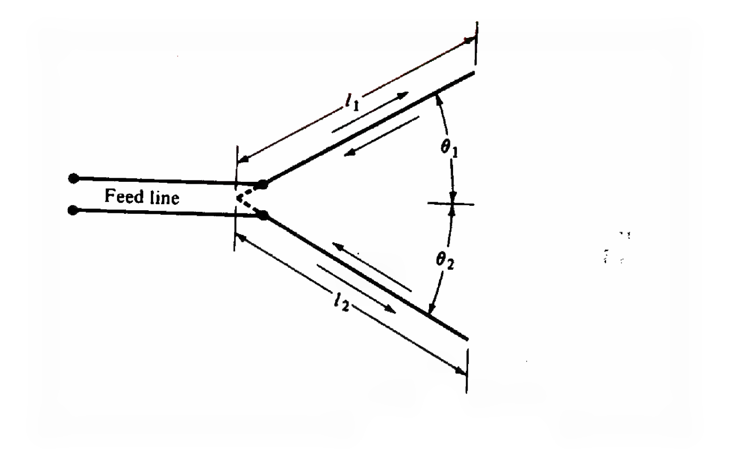


Diagrama azimutal

Diagrama en elevación

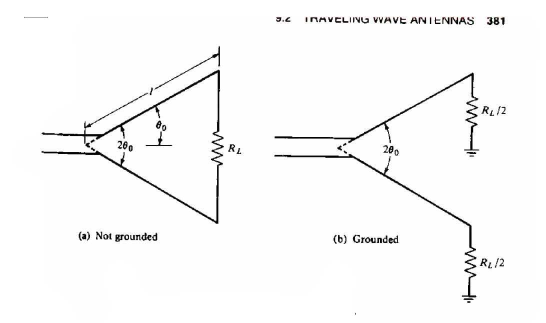
5.4. Antenas para ondas cortas (XXIV)

- ***Antenas en V.***
  - Para algunas aplicaciones no es práctico utilizar un simple conductor longitudinal.
    - Su directividad es baja.
    - Sus lóbulos laterales pueden ser grandes.
    - La inclinación del haz principal está controlada por su longitud.
  - Uso de 2 conductores en V conectados a una línea de alimentación.



5.4. Antenas para ondas cortas (XXV)

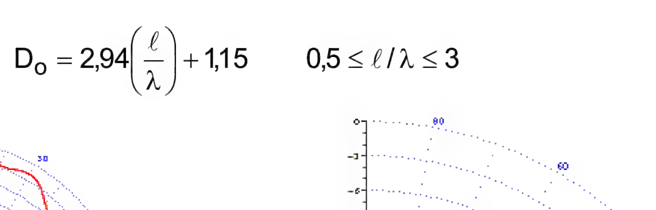
- En la mayoría de las aplicaciones, el plano formado por la V se sitúa paralelo al suelo.
  - El dipolo en V tiene polarización paralela.
  - Ajustando el ángulo de la V la directividad puede hacerse mayor y sus lóbulos laterales menores que en el dipolo lineal correspondiente.
- En la mayoría de las antenas en V los brazos y aperturas angulares son simétricas.
- Pueden diseñarse antenas en V unidireccionales o direccionales.
  - Para que mantengan características unidireccionales los brazos no deben resonar ⇒ eliminar (minimizar) las reflexiones en el extremo abierto ⇒ poner una carga igual a la impedancia característica en circuito abierto.



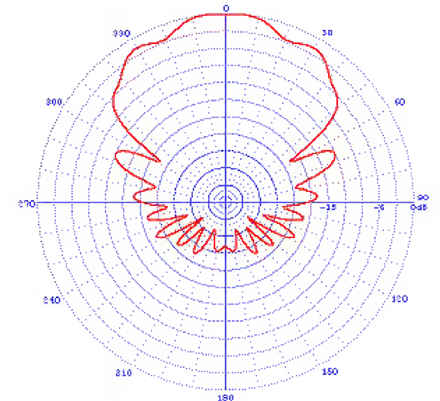
5.4. Antenas para ondas cortas (XXVI)

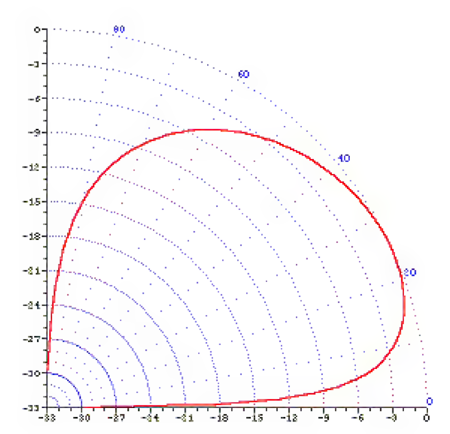
- Valores del ángulo formado por los brazos para directividad máxima:

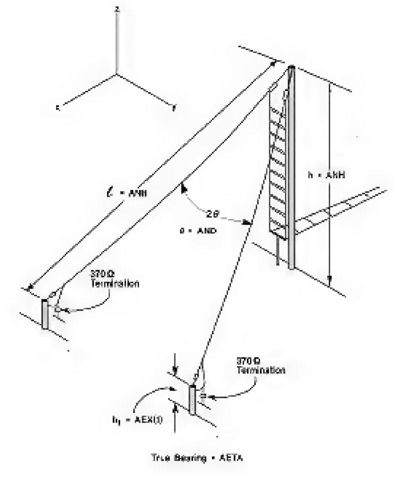
$$2\theta_o = \begin{cases} -149{,}3\left(\dfrac{\ell}{\lambda}\right)^3 + 603{,}4\left(\dfrac{\ell}{\lambda}\right)^2 - 809{,}5\left(\dfrac{\ell}{\lambda}\right) + 443{,}6 & 0{,}5 \le \ell/\lambda \le 1{,}5 \\ 13{,}39\left(\dfrac{\ell}{\lambda}\right)^2 - 78{,}27\left(\dfrac{\ell}{\lambda}\right) + 169{,}77 & 1{,}5 \le \ell/\lambda \le 3 \end{cases}$$



$$D_o = 2{,}94\left(\frac{\ell}{\lambda}\right) + 1{,}15 \qquad 0{,}5 \le \ell/\lambda \le 3$$

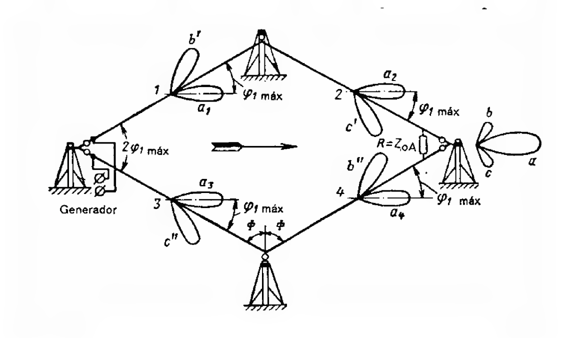






5.4. Antenas para ondas cortas (XXVII)

- ***Antenas rómbicas.***
  - Antena de banda ancha y alta directividad.
    - Ajuste de la adaptación antena-línea de alimentación en toda la banda de frecuencias.
    - Conservar constante la dirección de máxima radiación.



    - Impedancia característica de la línea de alimentación = impedancia característica de la antena = 600 – 700 ohmios.
    - Extremos 2-4 cerrados por impedancia característica de la antena.

5.4. Antenas para ondas cortas (XXVIII)

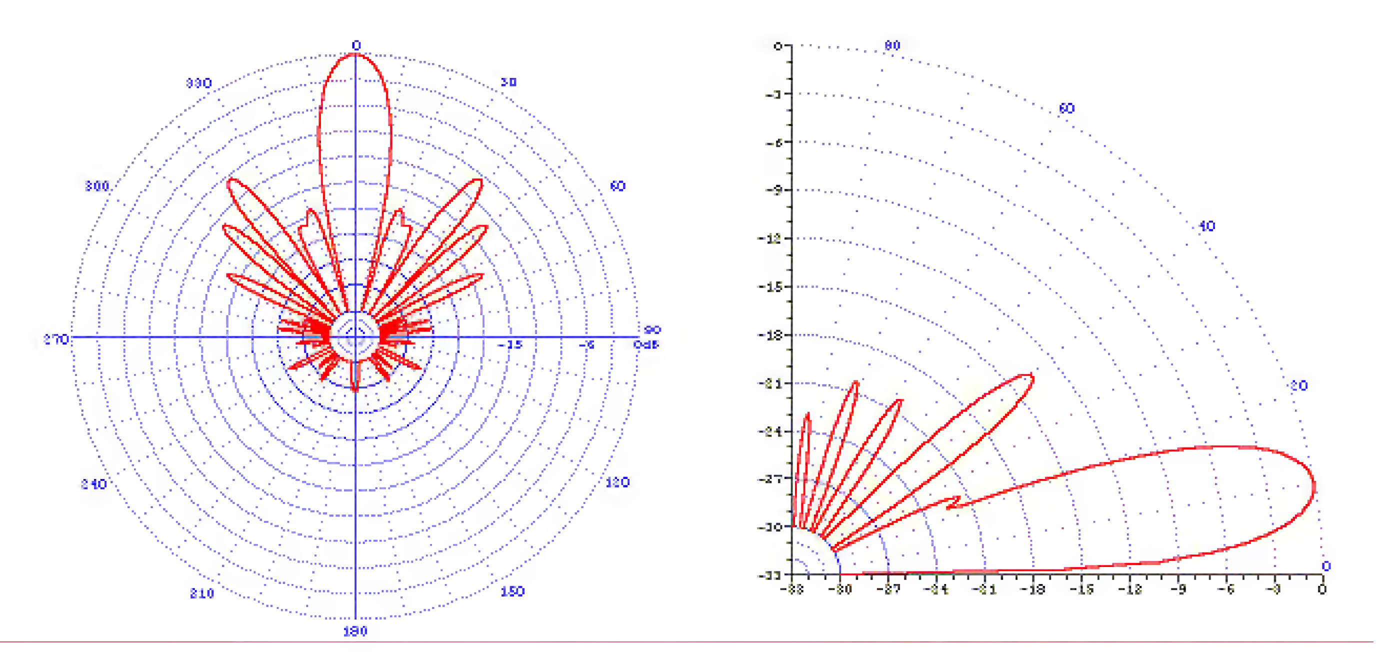
- Ángulo agudo del rombo:

$$\varphi_{1max} = \arccos\left(1 - \frac{\lambda}{2\ell}\right)$$

  - Ángulo entre el lóbulo principal y el eje del conductor.
  - Los lóbulos principales de los 4 conductores coinciden en forma y dirección.
    - Antena con efecto direccional cuyo máximo coincide con la dirección de la diagonal mayor del rombo.
    - Hasta longitudes de 4λ la variación de la longitud de onda no altera este ángulo, manteniéndose constante la dirección de máxima radiación.
    - Independencia de Ze de la antena con respecto a la frecuencia $\Rightarrow$ buena adaptación.
- Aparecen múltiples lóbulos laterales.
- Permite aumentar la potencia radiada.

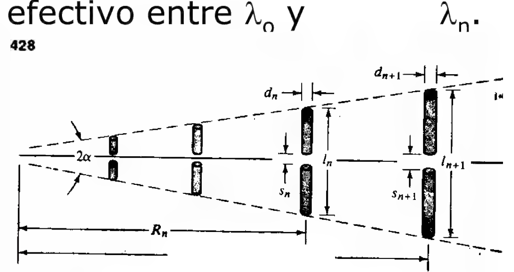
5.4. Antenas para ondas cortas (XXIX)

- Características de radiación:



5.4. Antenas para ondas cortas (XXX)

- ***Antenas logoperiódicas.***
  - Las propiedades varían logarítmicamente con la frecuencia.
    - En los límites de cada período las variaciones de las características han de ser insignificantes.
      - Antena de banda ancha.
      - Funcionamiento efectivo entre λ_o y λ_n.



      - Relación geométrica τ:

$$\tau = \frac{\ell_n}{\ell_{n+1}} = \frac{R_n}{R_{n+1}} = \frac{d_n}{d_{n+1}} = \frac{s_n}{s_{n+1}}$$

5.4. Antenas para ondas cortas (XXXI)

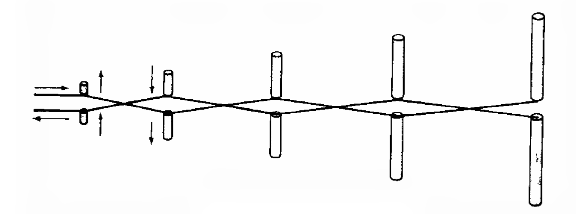
- Factor de espaciamiento σ:

$$\sigma = \frac{R_{n+1} - R_n}{2\ell_{n+1}}$$

- Angulo formado por los extremos de los dipolos, 2α.

$$\alpha = \mathrm{arctg}\left(\frac{1-\tau}{4\sigma}\right)$$

- Alimentación de la antena.



5.4. Antenas para ondas cortas (XXXII)

- Frecuencias de corte:
  - Menor cuando el dipolo más largo es de $\lambda/2$.
  - Mayor cuando el dipolo más corto es de $\lambda/2$.
  - El papel de los elementos activos es pasar del elemento mayor al menor a medida que aumenta la frecuencia.
  - La impedancia de entrada varía cíclicamente con el logaritmo de la frecuencia.
    - La variación de la frecuencia para cada ciclo está dada por

$$\Delta f = \ln\left(\frac{1}{\tau}\right)$$

5.4. Antenas para ondas cortas (XXXII)

- Ancho de banda del sistema:
  - Ancho de banda de la región activa:

$$B_{ra} = 1{,}1 + 7{,}7(1-\tau)^2 \cot g\alpha$$

  - Ancho de banda deseado, B.
  - Ancho de banda diseñado (algo mayor que el de la región activa):

$$B_{dis} = BB_{ra} = B\left[1{,}1 + 7{,}7(1-\tau)^2 \cot g\alpha\right]$$

- Características geométricas:
  - Longitud L de la estructura (de elemento menor a elemento mayor):

$$L = \frac{\lambda_{max}}{4}\left(1 - \frac{1}{B_{dis}}\right)\cot g\alpha$$

5.4. Antenas para ondas cortas (XXXIII)

- Número de elementos:

$$N = 1 + \frac{\ln B_{dis}}{\ln(1/\tau)}$$

- Impedancia característica de cada elemento:

$$Z_a = 120\left[\ln\left(\frac{\ell_n}{d_n}\right) - 2{,}25\right]$$

- Factor de espaciamiento relativo principal:

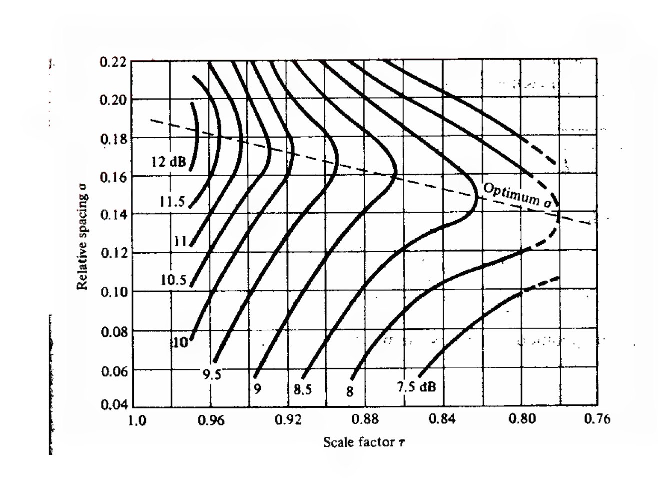
$$\sigma' = \sigma / \sqrt{\tau}$$

- Separación de alimentación del elemento:

$$s = d.ch(Z_o / 120)$$

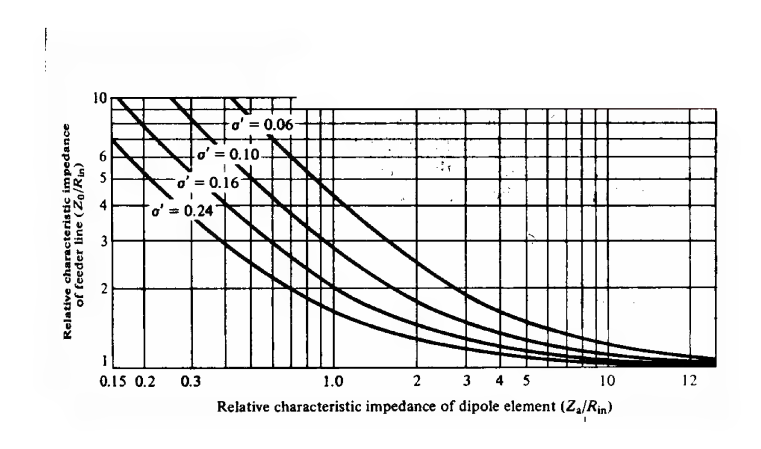
5.4. Antenas para ondas cortas (XXXIV)

- Diseño de antenas log-periódicas.
  - Datos: D_o, B, R_{in}, d.
  1. Determinar σ y τ.
  2. Determinar α.
  3. Determinar B_{ra} y B_{dis}.
  4. Determinar L y N.



5.4. Antenas para ondas cortas (XXXV)

5. Determinar Z_a.
6. Determinar σ'.
7. Determinar Z_o/R_{in}.



8. Calcular s.

5.4. Antenas para ondas cortas (XXXVI)

- ***Agrupaciones de antenas.***
  - Para utilizar con cualquier tipo de antena.
  - Determinación de la distancia entre antenas (centros).
    - Función del acoplamiento de polarización.
    - Si las antenas tienen polarización vertical y supuesto el suelo entre ellas como conductor ideal:

$$C_{PV} = 10\log\left[G_1 G_2 / (8\pi d/\lambda)^2\right]$$

    - Si las antenas tienen polarización horizontal y supuesto el suelo entre ellas como conductor ideal:

$$C_{PH} = 10\log\left[\frac{G_{F1} G_{F2}}{(4\pi d/\lambda)^2}\{2\mathrm{sen}(\pi(\ell_R - \ell_D))/\lambda\}^2\right]$$

5.4. Antenas para ondas cortas (XXXVII)

- Lectura:
  - G_1, G_2 =ganancias de potencia de cada antena en la dirección de la otra antena.
  - d = distancia entre antenas.
  - λ = longitud de onda de la mayor frecuencia de trabajo.
  - G_{F1}, G_{F2} = ganancias de potencia de las antenas en espacio libre considerada cada una en la dirección de la otra antena.
  - ℓ_D = distancia recorrida por el rayo directo entre antenas.
  - ℓ_R = distancia recorrida por el rayo reflejado entre antenas.

GUÍA DE ONDA (WAVE GUIDE)



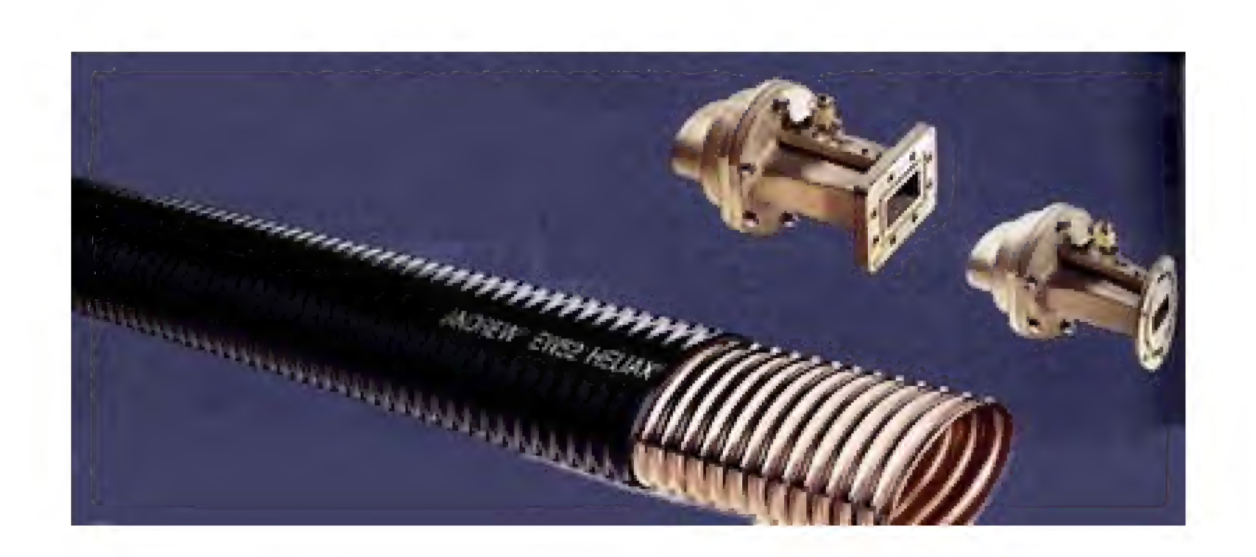
La guía de onda es un medio de comunicación tambien muy usado, el cual opera en el rango de las frecuencias comunmente llamadas como microondas (en el orden de GHz). Su construcción es de material metálico, por lo que no se puede decir que sea un cable. El ancho de banda es extremadamente grande y es usada principalmente cuando se requiere bajas pérdidas en la señal bajo condiciones de muy alta potencia como el caso de una antena de microondas al receptor/transmisor de radio frecuencia.

Las aplicaciones típicas de este medio es en las centrales telefónicas para bajar/subir señales provenientes de antenas de satélite o estaciones terrenas de microondas.

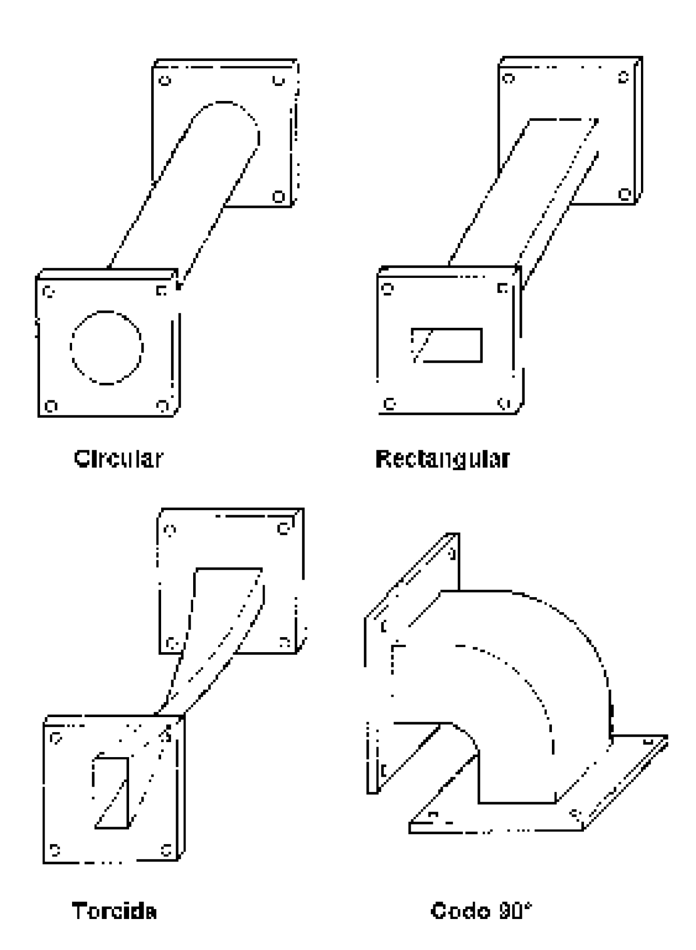


No todas las guias de onda son duras, también existen guías de onda más flexibles, existe un tipo de guía de onda que fabrica una compañía que se llama ANDREW, y a este tipo de guía de onda flexible se le conoce como Heliax.

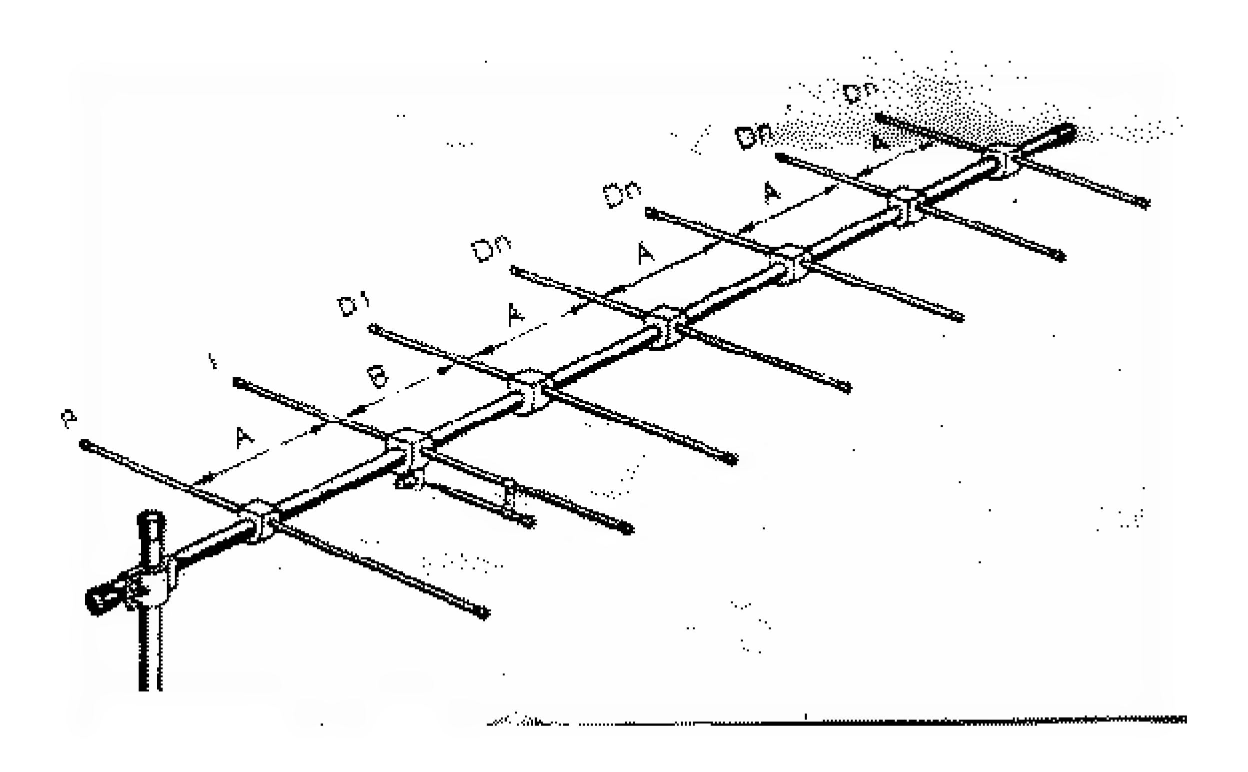
A continuación se muestran varios tipos de guias de onda.


ANDREW EW52 HELIAX




Circular
Rectangular
Torcida
Codo 90°

ANTENA YAGI 5 0 7 ELEMENTOS PARA VHF
(9 dB a 11dB de Ganancia)

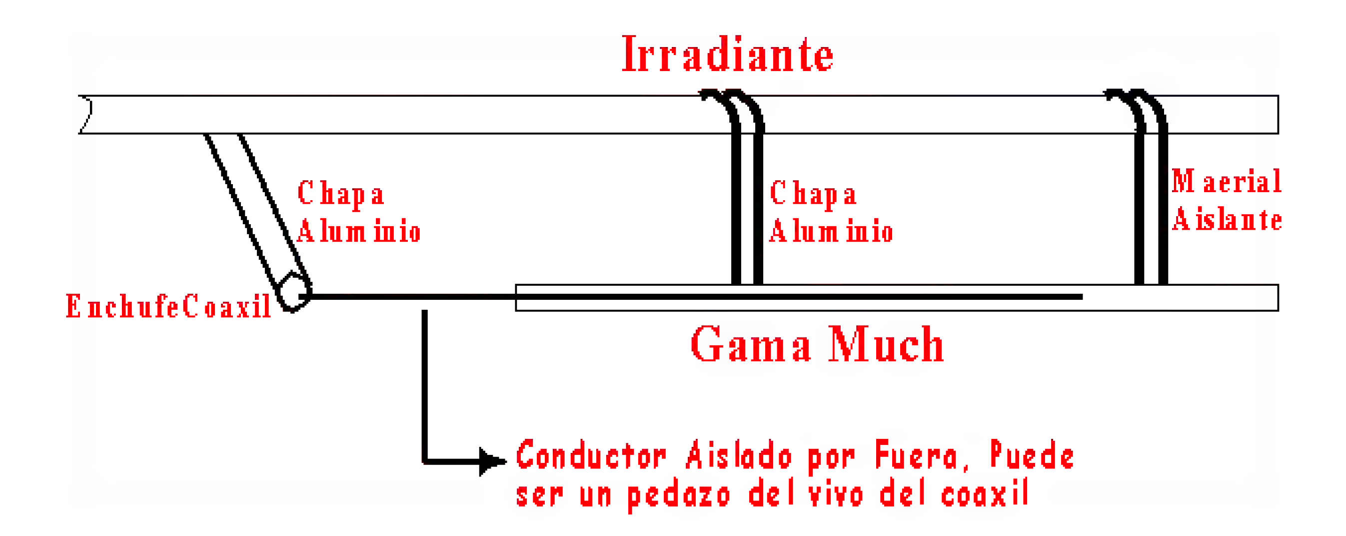


Esta es una antena de fabricación comercial de 9 dB de ganancia, para 5 elementos y 11dB de ganancia, para 7 elementos, según la compañía que las fabrica. Para 5 elementos, lo único que cambia es eliminar los dos primeros directores, quedando, el elemento Reflector (r), el elemento irradiante (i) y tres directores (d1, DN)
Los elementos, van montados sobre unas platinas de aluminio, haciendo un cortocircuito de la antena, pero se puede montar, agujereando el boom y pasando las varillas de aluminio por ahí.

El mástil esta en la parte posterior de la antena para evitar perdidas.
Las medidas de la antena están dadas en mm, y son según la frecuencia y el elemento es la siguiente

Datos de la antena de 5 y 7 elementos						
Frecuencia	DN	D1	I	R	A	B
142 Mhz	912	927	993	1041	437	335
143 Mhz	904	919	986	1036	437	335
144 Mhz	894	910	980	1028	437	335
145 Mhz	886	901	975	1021	437	335
146 Mhz	876	892	967	1016	437	335
147 Mhz	869	884	961	1009	437	335
148 Mhz	864	876	955	1003	437	335
149 Mhz	853	868	947	995	437	335
150 Mhz	843	859	942	988	437	335

El adaptador Gama



El sistema adaptador gama, esta fabricado de tubo de aluminio de 20 cms de longitud y separado del elemento irradiante 5 cms. En el punto de conexión, puede poner un enchufe coaxil donde la parte exterior de este, va conectado directo al irradiante por medio de una chapa de aluminio. El conductor aislante es de 18 cms de longitud y puede ser un pedazo de cable coaxil, solo la parte interna con la aislación, saquele la malla.

Las medidas de los caños de aluminio de toda la antena, son:

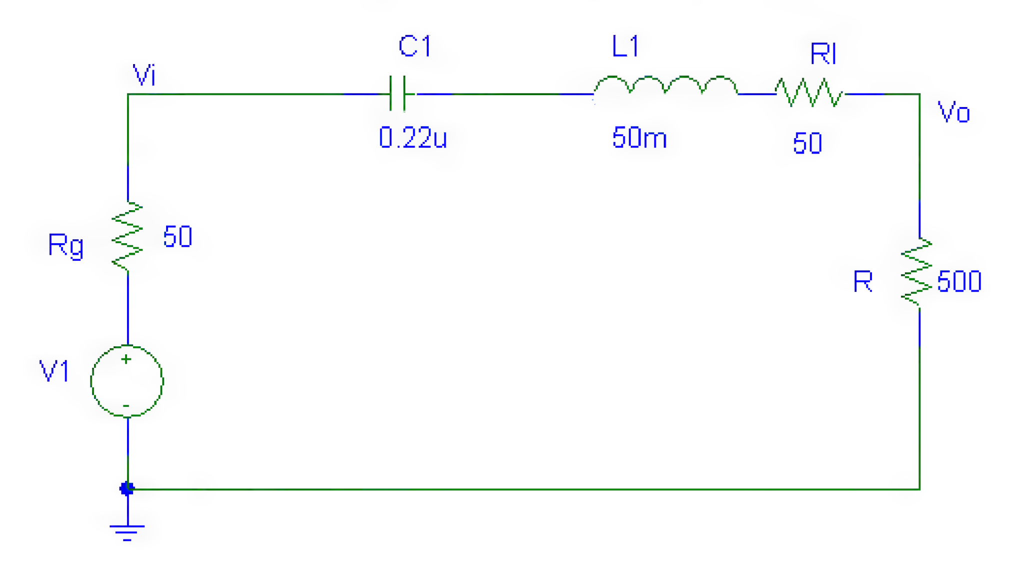
Elementos = Todos con caños de 1/4 de pulgada (6,35 mm) x 1,5 mm de pared, inclusive el gama.

Boom = Caño de aluminio de 3/4 de pulgada (19,05 mm) x 1,5 mm de pared.
Resistencia al viento = 180 Km / h

Resonancia

Objetivo
Familiarizar al alumno con el concepto de resonancia en un circuito eléctrico.

Experimento 1 Circuito resonante serie
Se arma el circuito resonante en Pspice, el cual se muestra en la siguiente figura



En un circuito resonante serie, la frecuencia de resonancia está expresada como

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

y el factor de calidad

$$Q = \frac{f_o}{AB} = \frac{\omega_0 L}{R}$$

y el ancho de banda es

$$AB = f_2 - f_1 = \omega_2 - \omega_1$$

en donde se puede expresar la frecuencia de resonancia en términos de las frecuencias de corte

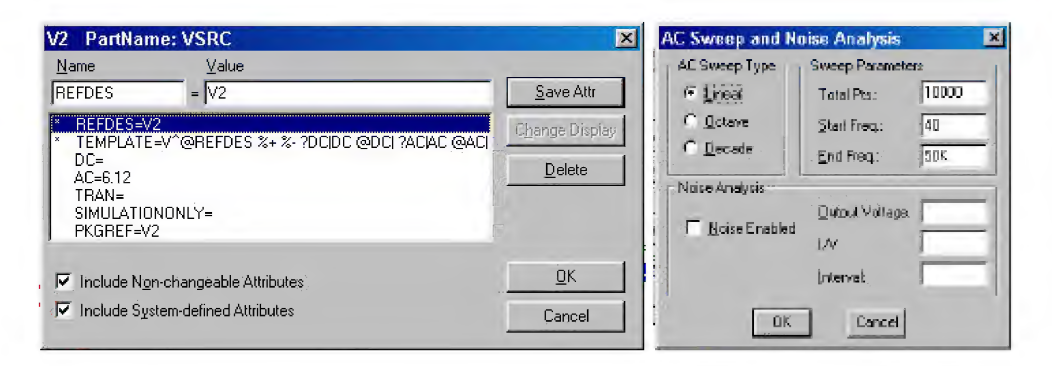
$$\omega_0 = \sqrt{\omega_1 \omega_2}$$

o bien

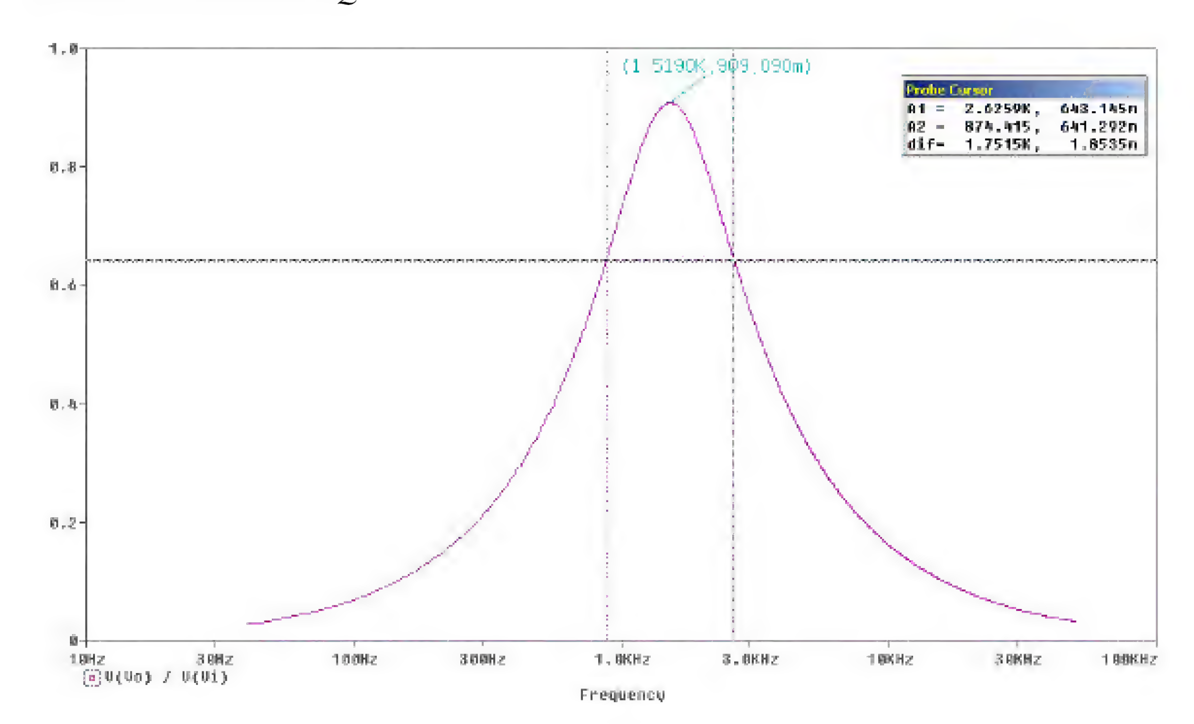
$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2}$$

Estos parámetros se determinarán mediante la simulación del circuito.

Para la simulación se consideró una fuente ***VSRC*** con un voltaje de ***AC=6.12*** y ahora se habilita en el ***Setup*** un barrido en frecuencia, especificado con los siguientes parámetros



Se simula el circuito con (***F11***) y se observa que el eje horizontal ahora es de frecuencia. En la figura se gráfica V(o)/V(i) que corresponde a la magnitud de la función de transferencia, obteniendo la frecuencia de resonancia ω_0 y el ancho de banda *AB*, a partir de los cuales se obtiene el factor de calidad *Q*.



A partir de los resultados de la simulación se obtiene la frecuencia de resonancia

$$f_0 = 1519\ Hz$$

$$\omega_0 = 9544.16 \quad rad/s$$

el ancho de banda se obtuvo a una amplitud que corresponde a 3 dB de atenuación con respecto a la magnitud del voltaje correspondiente a la frecuencia de resonancia., es decir, $V_{max}/\sqrt{2}$.

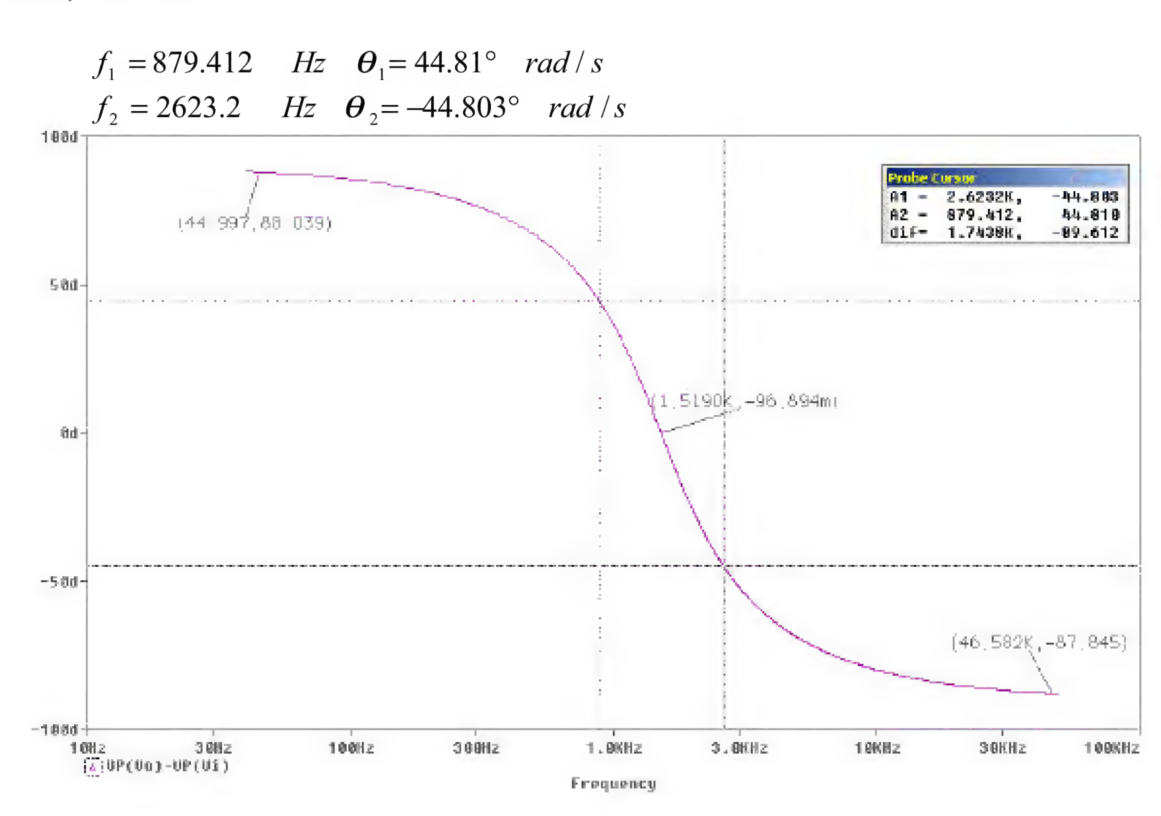
$$AB = 1751.5\ Hz$$
$$AB = 11005 \quad rad/s$$

a partir de los cuales se determina el factor de calidad

$$Q = \frac{\omega_0}{AB} = \frac{1519}{1751.5} = .867$$

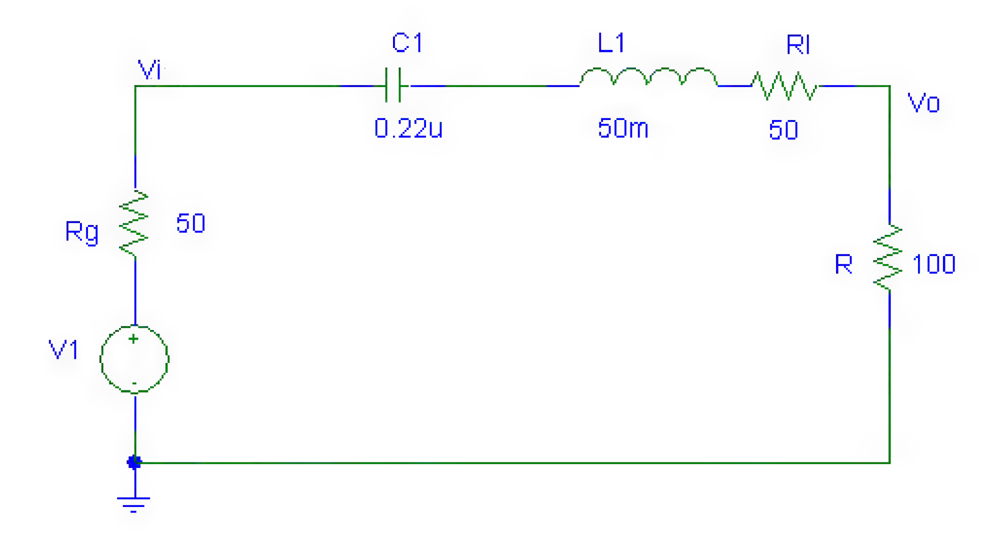
En la gráfica de fase se observa un defasamiento aproximado de 0° a la frecuencia de 1519 Hz. Mientras que para frecuencias menores a ω_0 el ángulo es positivo, y para frecuencias mayores a ω_0 el ángulo es negativo. También se indican los ángulos a las frecuencias del ancho de banda, estos son

$$f_1 = 879.412 \quad Hz \quad \theta_1 = 44.81° \quad rad/s$$
$$f_2 = 2623.2 \quad Hz \quad \theta_2 = -44.803° \quad rad/s$$

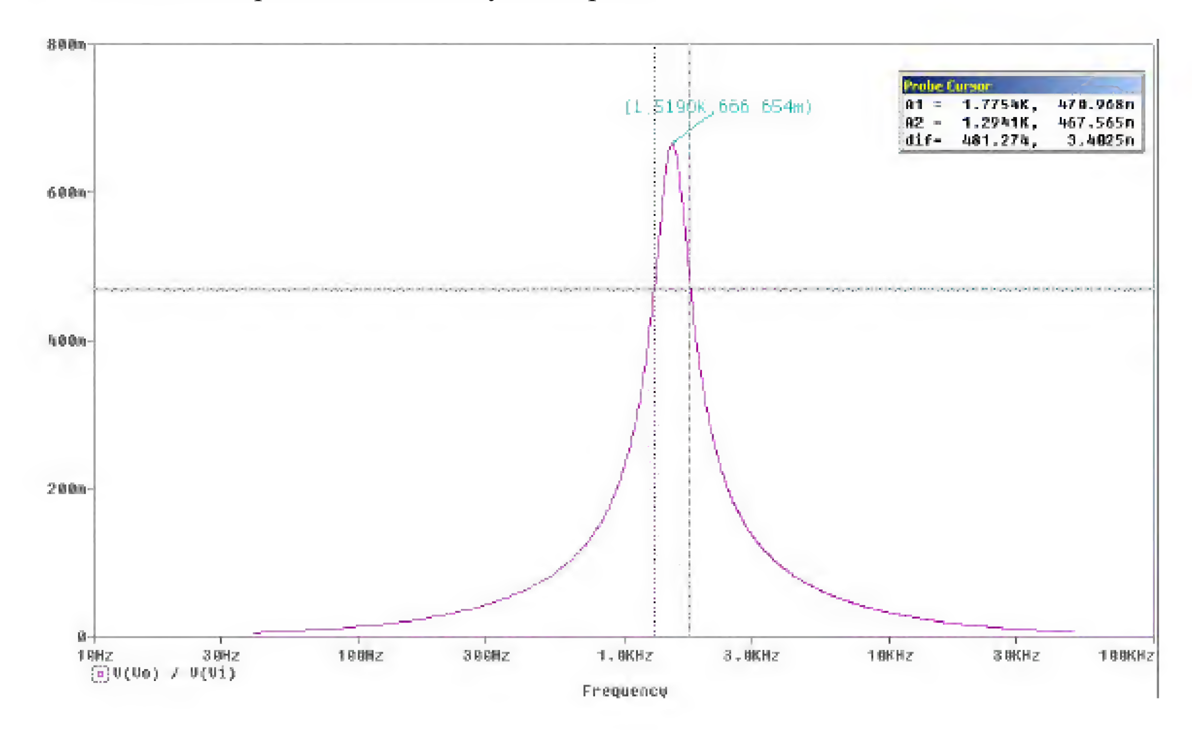


Experimento 2 Circuito resonante serie

Se armó un circuito similar al del experimento 1, con la excepción de que sólo se cambio la resistencia de 500Ω por una resistencia de 100Ω como se muestra en el siguiente diagrama



Los resultados después de haber simulado son los que se presentan en la gráfica, en donde se observa que la frecuencia de resonancia sigue siendo la misma y notoriamente disminuyó el ancho de banda, aunque también disminuyó la amplitud.



Los datos obtenidos en este caso son

$$f_0 = 1519 \; Hz$$

$$\omega_0 = 9544.16 \quad rad/s$$

el ancho de banda

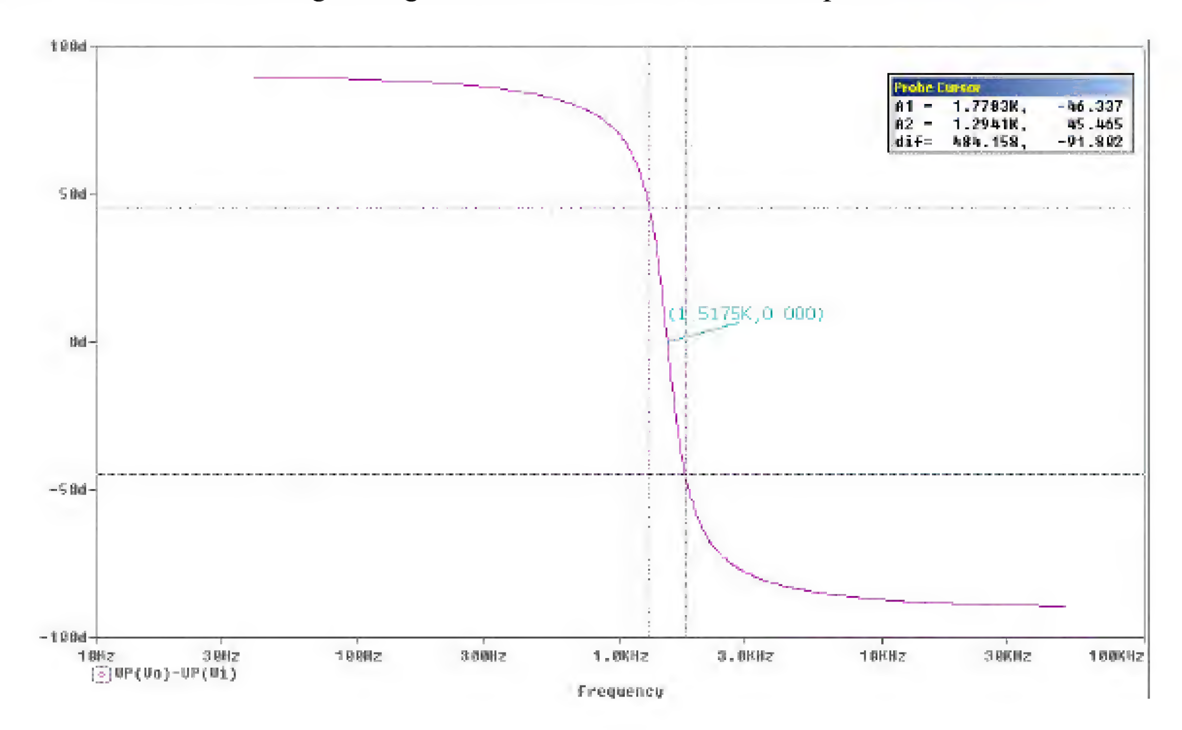
$$AB = 481.274 \; Hz$$

$$AB = 3023.93 \quad rad/s$$

a partir de los cuales se determina el factor de calidad

$$Q = \frac{\omega_0}{AB} = \frac{1519}{3023.93} = 3.15$$

Para la fase se obtiene la siguiente gráfica obteniendo los valores de la pantalla del cursor



$$f_1 = 1294.1 \quad Hz \quad \theta_1 = 45.46° \quad rad/s$$
$$f_2 = 1770.3 \quad Hz \quad \theta_2 = -46.33° \quad rad/s$$

Experimento 3 Circuito resonante RC de 2° orden

Se armó con Pspice el circuito RC de segundo orden. En este caso la frecuencia de resonancia es

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

y el factor de calidad sigue siendo

$$Q = \frac{f_o}{AB} = \frac{\omega_0 L}{R}$$

así como el ancho de banda e

$$AB = f_2 - f_1 = \omega_2 - \omega_1$$

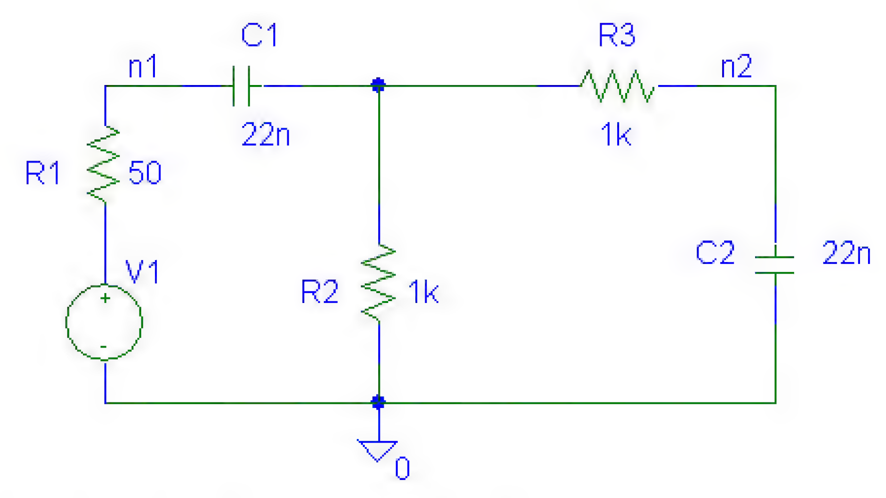
en donde igualmente se puede expresar la frecuencia de resonancia en términos de las frecuencias de corte

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_1\omega_2}$$

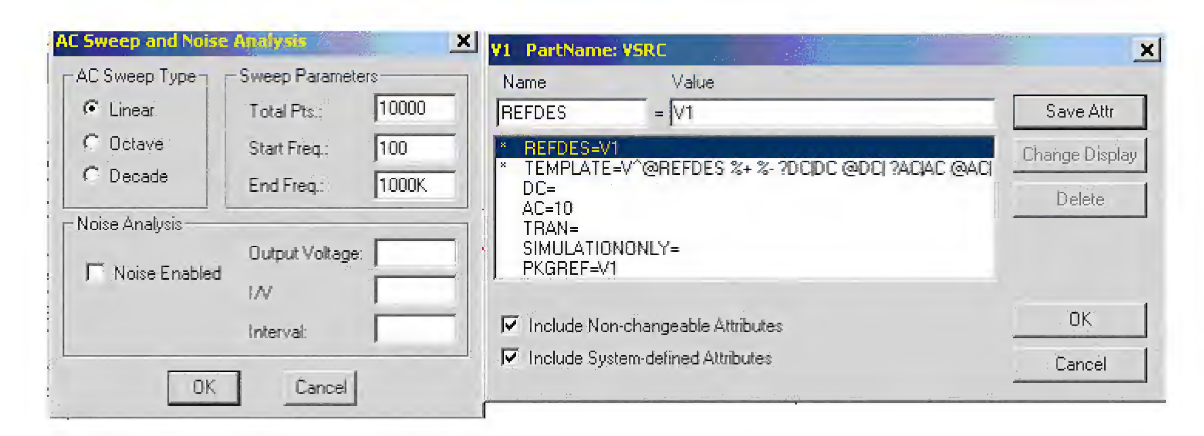
o bien

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2}$$

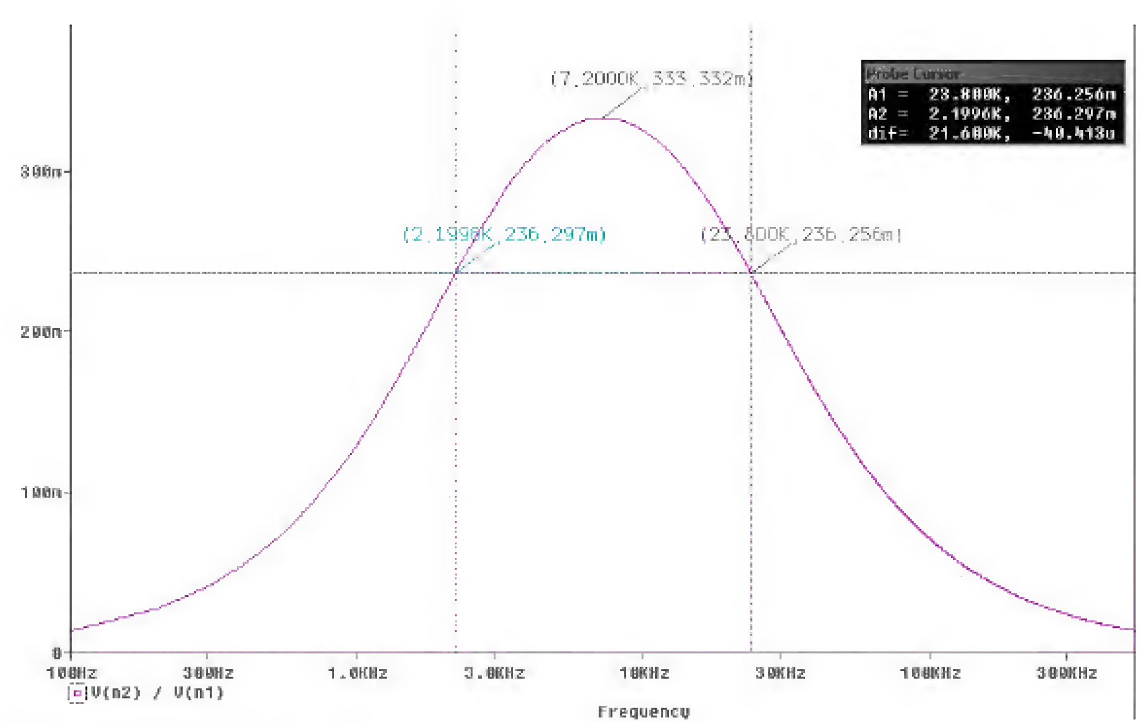
Estos parámetros del circuito se determinarán mediante la simulación del circuito.



Los parámetros del barrido en frecuencia y de la fuente los son los siguientes



Al simular con (***F11***) se obtiene la siguiente gráfica de la magnitud de la función de transferencia, identificada como V(n2)/V(n1)



La frecuencia de resonancia es

$$f_0 = 7200\ Hz$$

$$\omega_0 = 45238.9 \quad rad/s$$

el ancho de banda

$$AB = 21600\ Hz$$

$$AB = 137717 \quad rad/s$$

a partir de los cuales se determina el factor de calidad

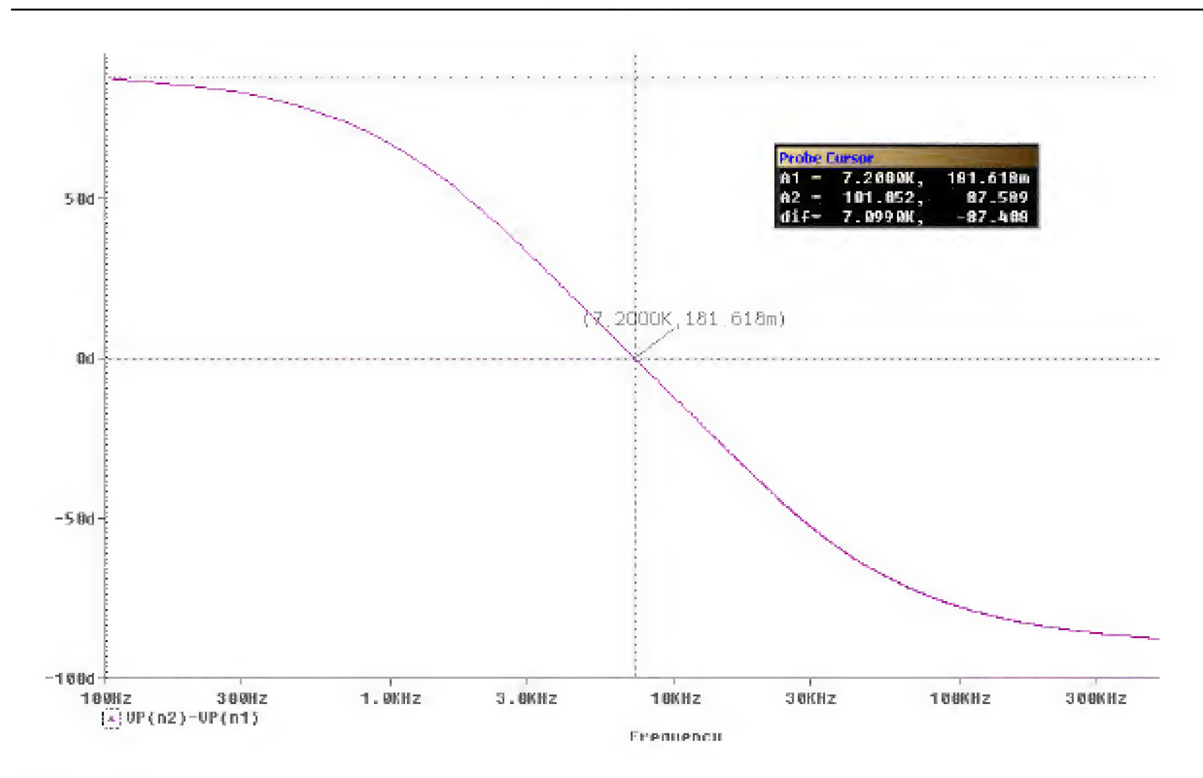
$$Q = \frac{\omega_0}{AB} = \frac{7200}{21600} = .333$$

Para la fase se obtiene la siguiente gráfica obteniendo los valores de la pantalla del cursor

$$f_0 = 7200\ Hz$$

$$\omega_0 = 45238.9 \quad rad/s$$

que corresponde a un ángulo de o° a la frecuencia de resonancia. El ancho de banda es similar al anterior.



Comentarios

Se recomienda comparar todos los resultados con los respectivos teóricos para tenerlos de referencia con respecto a los prácticos.

En esta práctica se incluyó una nueva forma de análisis, esta fue el barrido en frecuencia. Así mismo se presentó la forma de medir el defasamiento de una señal directamente en grados(°).

Fasores

Juan Carlos Cruz
Ingeniero Electricista
Profesor Facultad de Ingeniería Electrónica
Universidad de San Buenaventura Cali

Abstract

It is this article's intention to give students some clarity with regard to the concept of phasors, a very important tool in the analysis of alternate current electrical circuits.

This is why most of the work is dedicated to understand what a phasor is, what it represents and how to use it in electrical circuits. To see the advantages of using phasors, a basic RL circuit will be solved using the method of differential equations and the method of phasors. It is hoped this article will serve as an initial analysis tool for the a.c. electrical circuit courses, where the phasor becomes a key element to obtain results in an efficient manner.

Resumen

En el presente artículo se pretende dar claridad a los estudiantes frente al concepto de fasor, por ser este una herramienta muy importante en el análisis de circuitos eléctricos en corriente alterna. Por tal motivo, gran parte del trabajo está destinado a comprender qué es un fasor, lo que representa y la manera de utilizarlo en los circuitos eléctricos. Para observar las ventajas de utilizar fasores, se resolverá un circuito RL básico, utilizando el método de ecuaciones diferenciales y el método de fasores. Se espera que este artículo sirva como herramienta inicial de análisis en los cursos de circuitos eléctricos de corriente alterna, donde el fasor es una herramienta clave para obtener resultados en forma eficiente.

Introducción

El análisis de circuitos alimentados con corriente alterna (A.C.) ha sido un tema complicado para los estudiantes de pregrado de ingenierías como eléctrica, electrónica y sistemas. Esto se debe particularmente a que no logran comprender completamente el concepto de fasor como herramienta apropiada para analizar tales circuitos.

En este artículo se muestra la evolución secuencial y lógica de cómo el fasor se constituyó en herramienta para realizar los análisis en A.C. Primero se hace una explicación breve del origen de las señales senoidales en la corriente y el voltaje, seguidamente se dan las pautas necesarias y la explicación de cómo una señal senoidal se puede representar como un vector que gira a cierta velocidad angular para terminar en el procedimiento matemático que sustenta la existencia del fasor; además se dan explicaciones pertinentes de cómo es posible pasar del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia y la importancia que esto conlleva en la solución de circuitos de A.C.

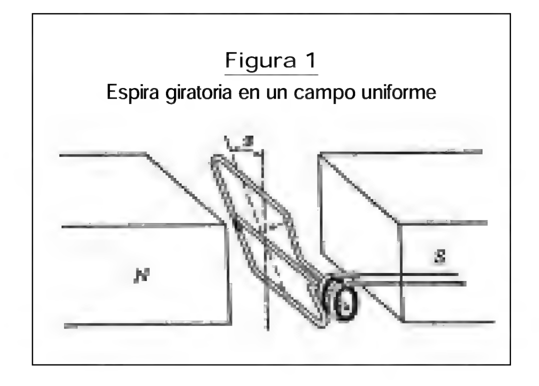
Para mostrar la necesidad de utilizar los fasores, se plantea un circuito conformado por una resistencia y un inductor en serie, donde encontrar la solución de la ecuación diferencial que modela este circuito es bastante dispendioso, mientras que, si realizamos el análisis desde el punto de vista fasorial, es bastante fácil y la solución es casi inmediata. Para trabajar el circuito RL en forma fasorial, se muestra cómo se representan en el dominio de la frecuencia algunos elementos pasivos de un circuito, como la resistencia, el inductor y el capacitor.

Sinusoides

Se ha visto que cuando una espira gira a velocidad constante en un campo magnético uniforme (Figura 1), en ella se induce una fuerza electromotriz (f.e.m.) alternativa (1).

Figura 1

Espira giratoria en un campo uniforme



Los valores sucesivos de la f.e.m. se pueden representar por medio de una curva continua llamada sinusoide (Figura 2b) porque los valores de la f.e.m. son proporcionales al seno del ángulo x que el plano de la espira forma con un plano perpendicular a la dirección del campo magnético y que pasa por su eje de rotación (Figura1), esto es posible demostrarlo de la siguiente manera:

La magnitud de la f.e.m. inducida en un conductor único que corta un campo magnético viene dada por la expresión:

$$e = BLv \text{ voltios}$$

Ecuación 1

donde B, es el campo magnético, L es la longitud del conductor de la espira y v es la velocidad tangencial de la espira; las tres cantidades son perpendiculares entre sí. No obstante, cuando el conductor se encuentra, con relación a la dirección del flujo, en la posición indicada en la Figura 2a, la velocidad v no es perpendicular a la dirección del flujo. Puede, entonces, descomponerse en dos velocida-

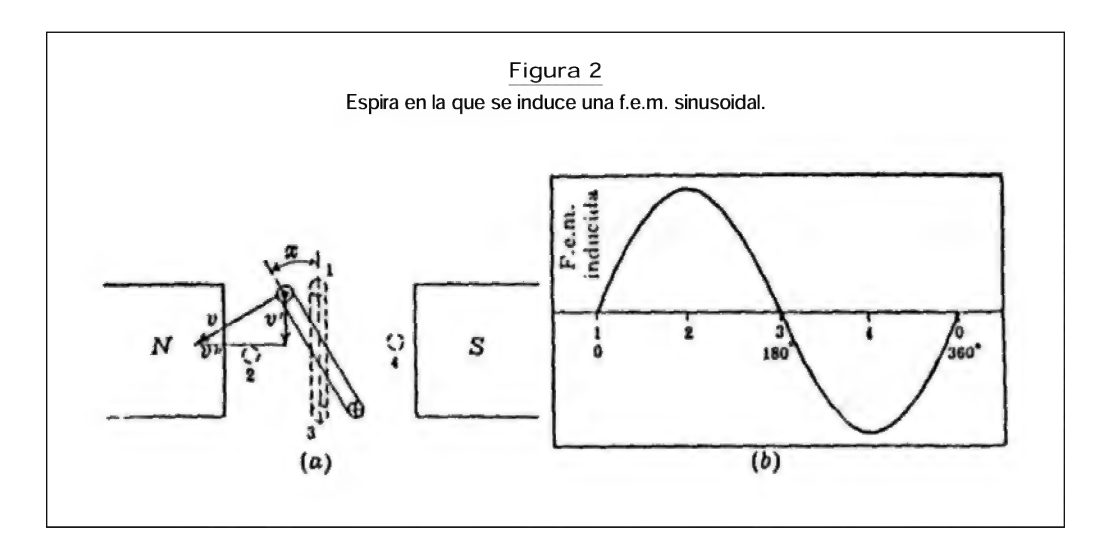


Figura 2
Espira en la que se induce una f.e.m. sinusoidal.

des, v'' paralela a la dirección del flujo y v' perpendicular a ella. Como la velocidad v'' es paralela al flujo no puede ser causa de generación de f.e.m. La componente v'= v sen x, perpendicular al flujo, dará lugar a una f.e.m. cuyo valor, según la ecuación 1, será:

$$e = B\,L\,v\,sen\,x$$

Ecuación 2

siendo x el ángulo que forma el plano de la espira con el correspondiente a la posición 1. Así, la f.e.m. inducida en dicho conductor puede quedar representada por una sinusoide.

Cuando la parte superior de la espira (Figura 2a) se haya en la posición 1, la f.e.m. es nula; cuando está en la posición 2, la f.e.m. alcanza su valor máximo positivo; cuando llega a la posición 3, la f.e.m. vuelve a anularse; y en la posición 4, toma el valor máximo negativo (Figura 2b). Cuando una ondulación periódica, tal como la sinusoidal, ha pasado una vez por todos sus valores positivos o negativos (figuras 2b y 3) se dice que ha recorrido un semiperíodo (Figura 3). Si ha realizado dos semiperíodos de signo contrario, se dice que ha completado un período o ciclo.

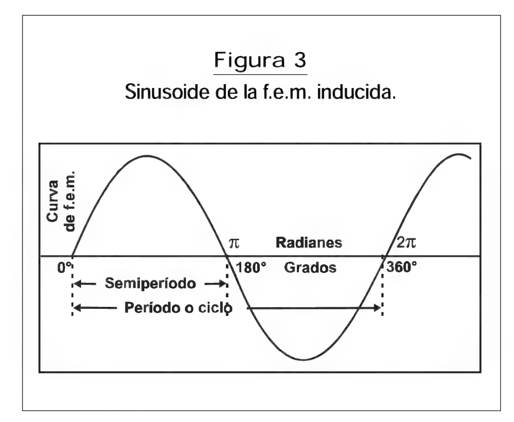


Figura 3
Sinusoide de la f.e.m. inducida.

La teoría y el análisis de la corriente alterna se basa en el empleo de sinusoides (o cosinusoides) para representar la tensión, la intensidad de la corriente y la potencia, debido, entre otras cosas a que las funciones seno y coseno son sencillas y fáciles de expresar matemáticamente.

Representación vectorial de cantidades oscilatorias

Una sinusoide se puede trazar proyectando el extremo de las distintas posiciones de un segmento rectilíneo giratorio, sobre las correspondientes ordenadas igualmente espaciadas. El

valor de la magnitud de una corriente o de un voltaje se puede obtener en cada instante, midiendo la proyección del radio sobre el eje vertical de referencia.

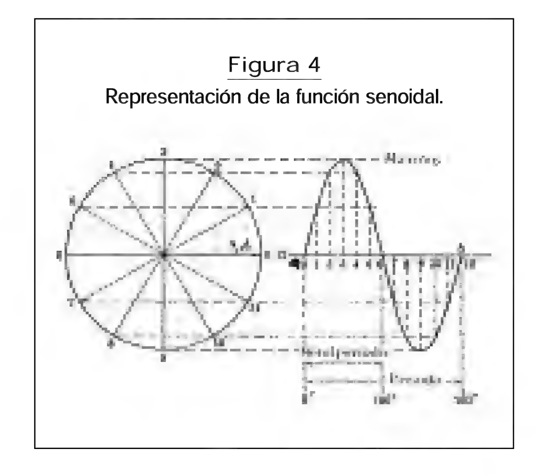


Figura 4
Representación de la función senoidal.

En la Figura 4 se ha representado la función

$$y = B \, sen \, x$$

Para obtenerla se realizaron los siguientes pasos:

1. Se traza una circunferencia cuyo radio representará la unidad (máximo valor del seno en un período).
2. Se divide la circunferencia en un número de arcos iguales (para el caso de la figura 4 se tomaron 12), los cuales se enumeran con las cifras 1, 2, 3, ... 12.
3. Se traza la recta horizontal ab cuya prolongación pase por el centro de la circunferencia.
4. Se divide ab en el mismo número de partes en que se ha dividido la circunferencia, señalando cada punto con el número correspondiente.
5. Sobre cada uno de estos puntos de ab, se levanta una perpendicular a dicha recta.
6. Los puntos de la circunferencia que se han numerado se proyectan horizontalmente hasta que corten las ordenadas correspondientes a los puntos de ab del mismo número.
7. Se unen todos los puntos de intersección con una curva continua para obtener la sinusoide.

Período y frecuencia

Tomemos una flecha de longitud igual a la del radio y fijemos un extremo en el centro de la circunferencia de la Figura 4, ahora, partiendo del punto 0, se pone a girar la flecha en sentido contrario al que giran las manecillas del reloj. En el momento en que dicha flecha ha completado una vuelta (revolución u oscilación), ha descrito un arco de 360º o de 2π radianes. Si la velocidad en revoluciones por segundo (r.p.s) es V, la frecuencia (f) que indica el número de oscilaciones de la flecha en períodos por segundo es igual a V, puesto que, para cada revolución, la flecha sigue un período completo de valores positivos y negativos.

Si la flecha girase durante un tiempo t segundos a partir de la posición O, habrá ejecutado V t revoluciones o f t ciclos. Por consiguiente,

$$X = 2\pi V t = 2\pi f t \text{ ó } 360 f t \text{ grados.}$$

Ecuación 3

Así pues, a velocidad constante o a frecuencia constante, 2π f ó 360 f son constantes, y las curvas de corriente alterna pueden trazarse con el tiempo como abscisa, del mismo modo que se hacía en radianes o grados.

Si llamamos velocidad angular (ω) al número de radianes que se recorren en un segundo, de la ecuación 3 se deduce que

$\omega = 2\pi f$ *radianes por segundo.*

Variación sinusoidal de la intensidad de corriente

Si en la ecuación $y = B \, sen \, x$, se reemplaza y por i, B por Im y X por $2\pi f t$, donde $\omega = 2\pi f$, se obtiene la ecuación de la intensidad de la corriente alterna sinusoidal

$$i_{(t)} = I_m \, sen \, 2\pi f t = I_m \, sen \, \omega t$$

Ecuación 4

Donde i es el valor de la corriente en un instante dado t, I_m es el valor máximo de la corriente y $\omega = 2\pi f$ la pulsación de la corriente. Esta última cantidad, igual a 2π veces la frecuencia, es la velocidad angular en radianes por segundo del vector giratorio que puede utilizarse para construir la sinusoide.

Por similitud, la ecuación de voltaje puede tomar la forma:

$$v_{(t)} = V_m \, sen \, \omega t$$

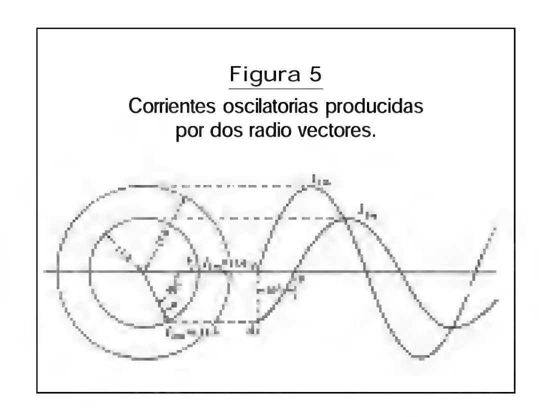
Ecuación 5

Adición vectorial de curvas sinusoidales

Supongamos que se quieren sumar las dos corrientes de la Figura 5. Para conseguirlo, se pueden sumar las ordenadas de las dos curvas, punto por punto (Figura 6), trazando la nueva curva I_3, que será la suma de dos corrientes cuyos valores máximos son I_{1m} e I_{2m} y con una diferencia de fase de 60°; el valor máximo de la resultante es I_{3m}.

Figura 5

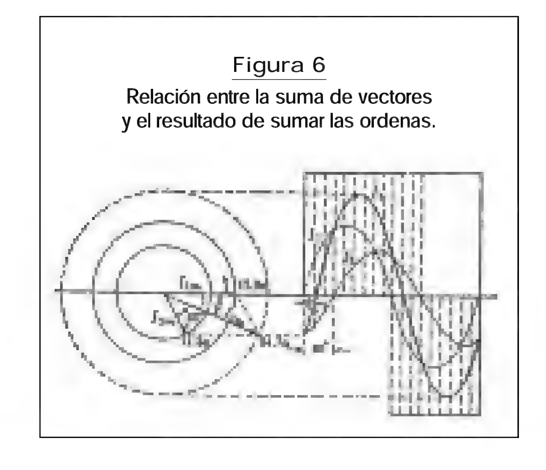
Corrientes oscilatorias producidas por dos radio vectores.



Si los vectores giratorios de la Figura 6 se suman vectorialmente completando el paralelogramo, se obtendrá un tercer vector I_{3m}, cuyo valor máximo corresponde al valor máximo de la curva resultante hallada como suma de ordenadas punto a punto. Si se traza una sinusoide valiéndose de I_{3m} como vector giratorio, proyectándolo horizontalmente como antes se hizo, coincidirá con la curva I_3 obtenida sumando las ordenadas de las curvas de I_1 e I_2 de intensidad. El ángulo θ que el radio vector I_{1m} tiene de avance sobre el radio vector I_{3m} es igual al ángulo θ que la intensidad I_1 tiene de avance sobre I_3. Por consiguiente, el problema de sumar sinusoides puede resolverse simplemente tomando los valores máximos de las ordenadas de las curvas y sumarlos como vectores que forman un ángulo determinado. El vector resultante será el valor máximo de la

Figura 6

Relación entre la suma de vectores y el resultado de sumar las ordenas.



curva que se obtendrá sumando las curvas.

El anterior análisis de las ondas sinusoidales nos lleva a plantear una técnica para simplificar la suma y resta de dos o más voltajes (o corrientes) sinusoidales, de la misma frecuencia, el mismo (o diferente) valor máximo y ángulo de fase; esta técnica es conocida como *análisis fasorial*.

Un *fasor*, tal como se muestra en la Figura 7 es un segmento de línea recta que gira alrededor del origen, en sentido contrario a las manecillas del reloj, a una velocidad angular constante de ω radianes por segundo.

La longitud del segmento de línea representa a escala el valor máximo de la onda. Nótese la dirección positiva de rotación del fasor es la misma que se usa para la medida angular (sentido contra-horario). El ángulo θ es el ángulo de desplazamiento instantáneo en radianes o grados desde la línea de referencia de cero grados.

El valor instantáneo del voltaje generado se representa por la proyección del fasor sobre un plano vertical y se determina por el producto de V_m y el seno del ángulo de desplazamiento de fase instantáneo.

En la Figura 8 se muestra una onda de voltaje sinusoidal cuya ecuación, basada en el tiempo cero dado, es:

$$V = 100\,sen\,(\omega\,t + 30°)$$

Ecuacion 6

El fasor del voltaje correspondiente, que se muestra en la Figura 8 tiene una longitud proporcional a 100V y un ángulo de fase de +30°. La proyección de este fasor en el plano vertical en el tiempo cero indica una magnitud instantánea de 100 sen30° ó 50V. A medida que el tiempo transcurre, el fasor rota desde su posición en tiempo cero, haciendo que la magnitud de su proyección en el plano vertical cambie.

Figura 7

Representación de un fasor.

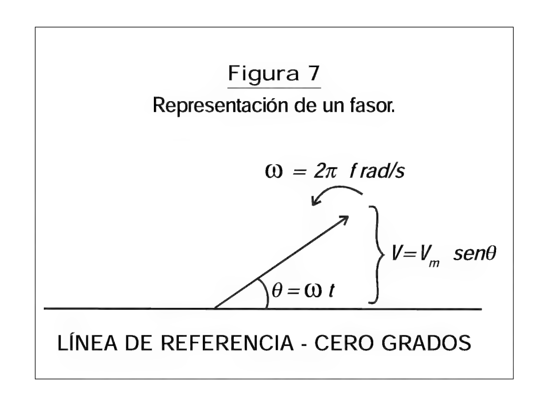
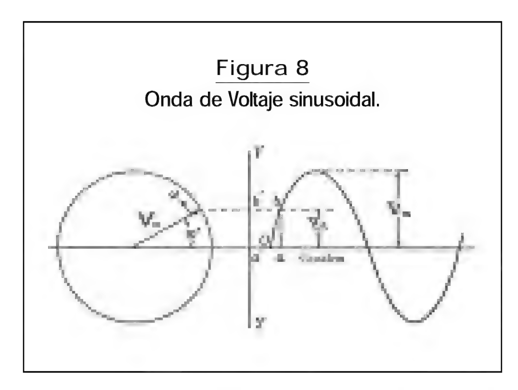


Figura 8

Onda de Voltaje sinusoidal.



La proyección en cualquier instante de tiempo será V = 100 sen(ωt+30°) en donde ωt es el incremento en ángulo debido al tiempo transcurrido.

Cuando todos los voltajes y corrientes sinusoidales de un circuito dado son de igual frecuencia, la velocidad angular de cada fasor es la misma. Bajo tales condiciones, los fasores del sistema están fijos (se demostrará matemáticamente más a delante) en sus posiciones relativas del uno con respecto al otro cuando giran alrededor del origen y así este giro puede no considerarse. Por lo tanto, para propósitos de cálculos y análisis, todos los fasores de igual frecuencia están "congelados" en sus posiciones de tiempo cero.

Análisis fasorial para un circuito RL

Es bueno señalar que el análisis fasorial es posible gracias a la ecuación de Euler, debido a que ella es la que posibilita transformar un proceso matemático de ecuaciones diferenciales a otro matemático pero de ecuaciones algebraicas.

La expresión de Euler

$$e^{i\theta} = \cos\theta + i\,sen\,\theta$$

Ecuacion 7

El circuito RL que se analizará se muestra en la Figura 9.

La ecuación diferencial que representa el circuito es:

$$Ri + L\frac{di}{dt} = V_m \cos\omega t$$

Ecuación 8

La solución de esta ecuación tiene la forma:

$$i_t = k_1 \cos\,\omega\, t + k_2\, sen\,\omega\, t$$

Ecuación 9

donde k_1 y k_2 son constantes por determinar y dependen básicamente de las condiciones iniciales del circuito planteado. Un método adecuado para encontrar las constantes es reemplazando la ecuación 9 en la ecuación 8; de este proceso se obtiene que los valores son los siguientes:

$$k1 = \frac{RV_m}{R^2 + \omega^2L^2} \quad y \quad k2 = \frac{\omega LV_m}{R^2 + \omega^2L^2}$$

Si reemplazamos en la ecuación 8, la solución particular del circuito RL es la siguiente:

$$it = \frac{RV_m}{R^2 + \omega^2L^2}\cos\omega\, t + \frac{\omega LV_m}{R^2 + \omega^2L^2}\, sen\,\omega\, t$$

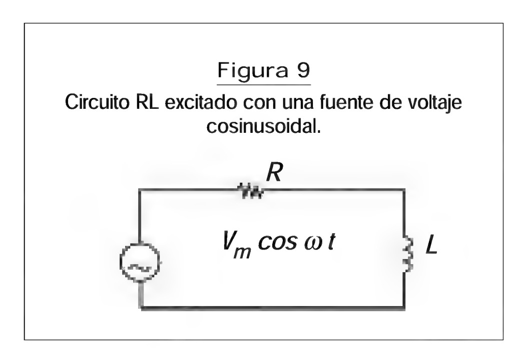


Figura 9

Circuito RL excitado con una fuente de voltaje cosinusoidal.

esta respuesta se conoce como la solución forzada del circuito porque es la respuesta de la corriente (i_t) a la fuente de voltaje cosenoidal (no se tiene en la cuenta la respuesta transitoria).

Después de un proceso matemático extenso donde la corriente se expresa en términos de un solo coseno, se obtiene la corriente i_t como se muestra en la ecuación 10.

$$i_t = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \cos\left(\omega\, t - \tan^{-1}\frac{\omega L}{R}\right)$$

Ecuación 10

El mismo resultado se puede obtener aplicando análisis fasorial, este proceso es factible si el circuito que se está analizando es lineal, porque en todo circuito lineal si se aplica una excitación real, imaginaria o compleja; se va a obtener una respuesta real, imaginaria o compleja respectivamente (2).

Si al circuito RL de la figura 9 le agregamos una fuente imaginaria de la forma $jV_m sen\omega t$ voltios; la fuente de excitación resultante ($V_m \cos\,\omega t + jV_m sen\omega t$) voltios, puede ser expresada (de acuerdo con la ecuación de Euler[1]) como $V_m e^{i\omega t}$ voltios. De acuerdo con esto, se puede afirmar que se obtendrá una

1. Teniendo en la cuenta la ecuación de Euler: $e^{j\theta} = \cos\theta + jsen\theta$, es posible cambiar θ por el ángulo $(\omega t+\phi)$ y por lo tanto la ecuación queda de la forma $e^{j(\omega t+\phi)} = \cos(\omega t+\phi) + jsen(\omega t+\phi)$.

solución de la forma $I_m e^{j(\omega t+\phi)}$, donde ϕ será la diferencia de fase que hay entre el voltaje y la corriente; cabe anotar que si el circuito es resistivo la diferencia de fase sería cero.

Entonces, la ecuación 8 escrita con la fuente compleja queda de la forma:

$$Ri + L\frac{di}{dt} = V_m e^{j\omega t}$$

Ecuación 11

Si en la ecuación 11 reemplazamos i por $I_m e^{j(\omega t+\phi)}$, la ecuación resultante es

$$RI_m e^{j(\omega t+\phi)} + j\omega L I_m e^{j(\omega t+\phi)} = V_m e^{j\omega t}$$

Ecuación 12

Utilizando propiedades de la potenciación, la ecuación 12 se puede reescribir como:

$$RI_m e^{j\omega t} e^{j\phi} + j\omega L I_m e^{j\omega t} e^{j\phi} = V_m e^{j\omega t}$$

en esta ecuación se puede observar que hay un término común que puede ser simplificado si dividimos toda la expresión por $e^{i\omega t}$ obteniéndose la ecuación 13:

$$R I_m e^{j\phi} + j\omega L I_m e^{j\phi} = V_m$$

Ecuación 13

Al hacer un análisis detallado del resultado que se obtuvo en la ecuación 13, se puede observar que la dependencia del tiempo t desaparece cuando se hace la simplificación, esto equivale a "tomar una foto" de las ondas senoidales tanto de voltaje como de corriente que están variando en el circuito. Si estas ondas las representamos como radio vectores (de acuerdo con lo visto inicialmente en este documento), se puede observar que los vectores están quietos y separados por un ángulo ϕ que representa la diferencia de fase (se desprecia el giro de los fasores). Cada vector está representado por su magnitud y ángulo correspondiente, para este circuito en especial el ángulo del voltaje es cero porque es tomado desde el punto de referencia cero, mientras que para la corriente, el ángulo correspondiente es ϕ .

En la ecuación 13, $I_m e^{i\phi}$ representa el radio vector (fasor) de corriente cuya magnitud es I_m y su ángulo ϕ (representación polar), mientras que el radio vector (fasor) de voltaje tiene una magnitud V_m y su ángulo cero ($e^{i0}=1$).

Si al radio vector $I_m e^{i\phi}$, lo llamamos fasor de corriente y lo representamos como I y al radio vector de voltaje $V_m e^{i0}$, lo llamamos fasor de voltaje y lo representamos como V, la ecuación 13 queda como:

$$RI + j\omega L I = V$$

Ecuación 14

Se puede ver claramente que la ecuación diferencial (ecuación 11) planteada inicialmente para el problema, quedó transformada en una ecuación algebraica (ecuación 14), donde el problema radica en encontrar la corriente fasorial I en términos del voltaje fasorial V. Este proceso[2] se muestra a continuación:

$$I = \frac{V}{R + j\omega L}$$

Pero el término $R + j\omega L$ se puede escribir en magnitud y ángulo.

$$Mag = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$$

$$y\ ángulo\ como\ \ tan\alpha = \frac{\omega L}{R} \Rightarrow \alpha = tan^{-1}\frac{\omega L}{R}$$

2. Es bueno anotar que en las expresiones imaginarias el símbolo i ha sido reemplazado por j para evitar confusiones con la corriente que también se simboliza con i.

Lo anterior implica que

$$I_m e^{j\phi} = \frac{V}{\sqrt{R^2+\omega^2 L^2}} e^{-j\left(tan^{-1}\frac{\omega L}{R}\right)}$$

Se puede concluir que

$$I_m = \frac{V}{\sqrt{R^2+\omega^2 L^2}} \quad y \quad \phi = tan^{-1}\frac{\omega L}{R}$$

La solución final (devolviendo a los fasores su dependencia con el tiempo –capacidad de girar–) estará dada por:

$$I_m e^{j(\omega t+\phi)} = I_m\, cos(\omega t+\phi) + jI_m\, sen(\omega t+\phi)$$

Recordemos que este método fue posible llevarlo a cabo solamente involucrando al circuito una fuente compleja de voltaje, por lo tanto para no afectar nuestros resultados finales para la corriente, la parte compleja debe ser retirada de la respuesta; lo anterior implica que la respuesta total real del circuito RL es:

$$i_{(t)} = \frac{V}{\sqrt{R^2+\omega^2 L^2}} cos\left(\omega t - tan^{-1}\frac{\omega L}{R}\right) Amperios$$

Ecuación 15

Concepto de fasor

Retomando los conceptos vistos hasta ahora, podemos dar una definición más completa de fasor. Se puede afirmar que un fasor es una cantidad compleja que contiene información de amplitud y fase de una cantidad eléctrica (corriente o voltaje). Por ejemplo, si se tiene $i_{(t)} = I_m cos(\omega t + \phi)$ el argumento ωt no va a cambiar en el circuito, por lo tanto, se puede hacer una representación de la forma $I = I_m \angle\phi$ equivalente a $I = I_m e^{j\phi}$ donde I_m es la amplitud y ϕ es la fase.

Se debe diferenciar que $i_{(t)}$ es una representación en el dominio del tiempo e I es la representación en el dominio de la frecuencia; por esta razón se habla de transformar una corriente o un voltaje del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.

Los pasos a seguir para transformar del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia son los siguientes:

1. Dada una función sinusoidal $i_{(t)}$ en el dominio del tiempo t, escríbala como una función coseno con un ángulo de fase. Por ejemplo, sen ωt debe escribirse como $cos(\omega t - 90)$, debido a que en la ecuación de Euler, el coseno corresponde a la parte real.
2. Exprese la onda coseno como la parte real de la entidad de Euler.
3. Elimine el término Re.
4. Elimine $e^{j\omega t}$.

Ejemplo:

1. $i_{(t)} = 5sen(377t + 150°)$

   $i_{(t)} = 5\, cos(377t + 150°\text{-}90° = 5cos(377t + 60°)$.
2. $i_{(t)} = 5Re(e^{j(377 + 60°)})$
3. $i_{(t)} = 5(e^{j(377t + 60°)})$
4. $I = 5e^{j60°} \;=\; I = 5\angle 60°$

Relaciones fasoriales para elementos de circuitos

A continuación se muestran las relaciones fasoriales entre voltaje y corriente para tres elementos pasivos R, L y C.

En el caso de una resistencia como se muestra en la Figura 10a; se sabe que la relación voltaje corriente es:

$$v_{(t)} = Ri_{(t)}$$

Ecuacion 16

Si aplicamos el voltaje complejo

$V_m e^{j(\omega t+\theta_v)}$ se obtiene la corriente compleja $I_m e^{j(\omega t+\theta i)}$ y la ecuación 16 se convierte en corriente es $V_m e^{j(\omega t+\theta v)} = RI_m ej(\omega t+\theta i)$ simplificando el término $e^{j\omega t}$ se reduce a

$V_m e^{j(\omega t+\theta_v)} = RI_m e^{j(\omega t+\theta i)}$ simplificando el término $e^{j\omega t}$ se reduce a

$$V_m e^{j(\theta_v)} = RI_m e^{j(\theta i)}$$

Ecuación 17

El cual se puede escribir en forma fasorial como

$$V=RI$$

Ecuacion 18

De la ecuación 17 se puede observar que $\theta_V = \theta_i$, así la corriente y el voltaje para este circuito están en fase.

Figura 10

Relaciones de Voltaje y Corriente para una resistencia.

Los números complejos han sido representados como puntos en una gráfica en la que el eje *x* representa el eje real y el eje *y* al eje imaginario. El segmento de línea que conecta el origen con el punto proporciona una representación adecuada de la magnitud y el ángulo cuando los números complejos se escriben en forma polar. Como los fasores son números complejos, es conveniente representar gráficamente el voltaje y la corriente fasorial como segmentos de línea. Una gráfica de los segmentos de línea que representan fasores se llama *diagrama fasorial*.

Esta representación proporciona información inmediata de la magnitud relativa de un fasor con otro, el ángulo entre dos fasores y la posición relativa de un fasor con respecto a otro (se puede dar un concepto de adelanto o atraso). En la Figura 10c se muestra el diagrama fasorial para la corriente y el voltaje (los cuales están en fase) en la resistencia.

La relación de voltaje - corriente para un inductor, como se muestra en la Figura 11a es

$$V_{(t)} = L\frac{di_{(t)}}{dt}$$

Ecuación 19

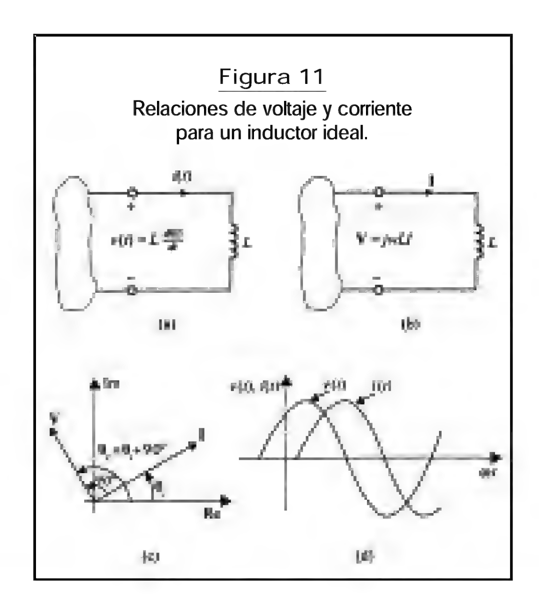


Figura 11

Relaciones de voltaje y corriente para un inductor ideal.

Sustituyendo el voltaje y la corriente complejos en la ec.19, se obtiene

$$V_m e^{j(\omega t+\theta v)} = L \frac{d}{dt} I_m e^{j(\omega t+\theta i)}$$

la cual se puede reducir a

$$V_m e^{j(\theta v)} = j\omega LI_m e^{j(\theta i)}$$

Ecuacion 20

Escribiendo la Ec. 20 en notación fasorial

$$V = j\omega I$$

Ecuacion 21

La ecuación diferencial de primer orden (ecuación19), ha sido transformada en una ecuación algebraica de coeficientes complejos en el dominio de la frecuencia. Esta relación se muestra en la Figura 11b. La ecuación 20 se puede escribir como

$$V_m ej(\theta v) = \omega LI_m e^{j(\theta i+90°)}$$

porque el operador imaginario j se puede escribir como $j = e^{j90°}$.

Por tanto, se puede observar que el voltaje y la corriente están fuera de fase 90°, y en particular el voltaje adelanta a la corriente por 90°. El diagrama fasorial y las formas de onda senoidales para el circuito del inductor se muestran en la Figura 11.

Finalmente, la relación de voltaje - corriente para el capacitor, como se muestra en la Figura 12a, es:

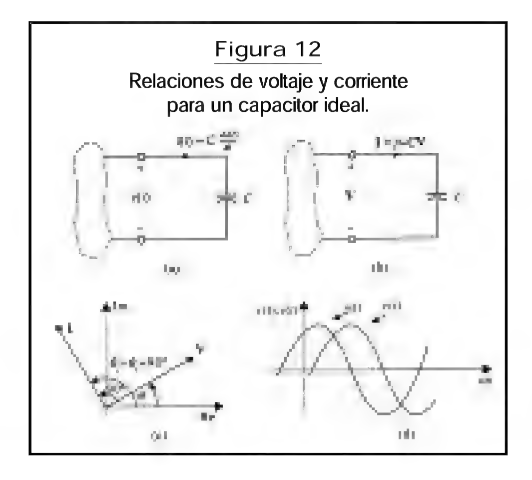


Figura 12
Relaciones de voltaje y corriente para un capacitor ideal.

$$i_{(r)} = C \frac{dv_{(t)}}{dt}$$

Ecuación 22

Sustituyendo el voltaje y la corriente complejos en la ecuación 22, se obtiene

$$I_m e^{j(\omega t + \theta i)} = C \frac{d}{dt} V_m e^{j(\omega t + \theta v)}$$

la cual se puede reducir a

$$I_m e^{j(\theta i)} = j\omega CV_m e^{j(\theta v)}$$

Ecuación 23

Escribiendo la ecuación 23 en notación fasorial

$$I = j\omega cV$$

Ecuación 24

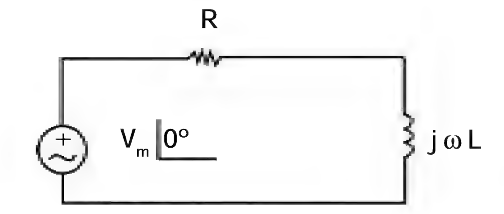
De igual manera la ecuación diferencial (ecuación 22), ha sido transformada en una ecuación algebraica de coeficientes complejos en el dominio de la frecuencia. Esta relación se muestra en la Figura 11b. La ecuación 23 se puede escribir como

$$I_m e^{j(\theta i)} = \omega CV_m e^{j(\theta v+90°)}$$

nuevamente porque el operador imaginario j se puede escribir como $j = e^{j90°}$.

Por tanto, se puede observar que el voltaje y la corriente también están fuera de fase 90°, y en particular la corriente adelanta el voltaje en 90°. El diagrama fasorial y las formas de onda senoidales para el circuito del inductor se muestran en la Figura 12.

Finalmente, si retomamos el circuito RL de la Figura 9, éste se puede representar en el dominio de la frecuencia como:



Se cumple por ley de voltaje de Kirchhoff que $R\,\boldsymbol{I} + j\,\omega\,L\,\boldsymbol{I} = V_m\angle 0^o$ entonces,

$$\boldsymbol{I} = \frac{V_m\angle 0^o}{R + j\omega L}$$ se sabe que

$$R + j\omega L = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}\ \angle \tan^{-1}\frac{\omega L}{R}$$

entonces,

$$\boldsymbol{I} = \frac{V_m\angle 0^\circ}{\sqrt{R^2+\omega^2 L^2}\ \angle \tan^{-1}\frac{\omega L}{R}} = \frac{V_m}{\sqrt{R^2+\omega^2 L^2}}\ \angle -\tan^{-1}\frac{\omega L}{R}$$

Si representamos esta corriente en el dominio del tiempo (es decir, retiramos la fuente compleja que se introdujo inicialmente), se obtiene la siguiente expresión:

$$i_{(t)} = \frac{V_m}{\sqrt{R^2+\omega^2 L^2}}\ \cos\left(\omega\,t - \tan^{-1}\frac{\omega L}{R}\right)$$

Se puede observar que el procedimiento para encontrar la corriente del circuito fue casi inmediato y por lo tanto en el momento de analizar circuitos que con varios lazos, el sistema de ecuaciones será más sencillo de resolver.

Conclusiones

- Una señal senoidal o cosenoidal se puede representar por un simbolismo conformado por números complejos, llamado fasor. Este símbolo no es más que un número, que especifica la amplitud y ángulo de fase de una onda senoidal, determinándola en forma tan completa como si fuera descrita por una función analítica del tiempo.
- Trabajar con fasores, en vez de hacerlo con derivadas e integrales de senoidales, sirve para simplificar notablemente el análisis senoidal de estado permanente o estable para circuitos RLC en general.
- La utilización de una fuente compleja es un artificio más de orden matemático que práctico; por lo tanto no es posible implementar en el laboratorio un circuito con una fuente de excitación compleja con el fin de encontrar un fasor.
- El método de análisis fasorial no es posible aplicarlo cuando en un mismo circuito existen dos fuentes de excitación con frecuencia angular diferente. En estos casos se utiliza el método de superposición, que es apropiado para los circuitos lineales, donde se hace una análisis del circuito de acuerdo con una participación independiente de cada fuente de excitación; al final se suman las respuestas obtenidas para expresar la solución general del circuito dado.

Bibliografía

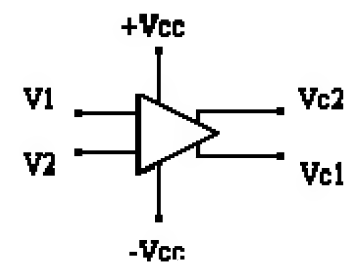
1. DAWES, Chester. *Tratado de electricidad*, tomo 2. Corriente Alterna. Ediciones Gili, S.A. 1979.
2. HAYT, William. KEMMERLY, Jack. *Análisis de circuitos en ingeniería*. Mc. Graw Hill. Tercera edición. 1993.
3. IRWIN, David. *Análisis básico de circuitos en ingeniería*. Prentice - Hall.
   Quinta edición. 1997.
4. ZILL, Dennis G. *Ecuaciones diferenciales con aplicaciones*. Segunda edición. Grupo Editorial Iberoamérica. 1988.
5. RAINVILLE, Earl. BEDIENT, Phillip. *Ecuaciones diferenciales*. Octava Edición. Prentice - Hall. 1998.

AMPLIFICADORES OPERACIONALES.

INTRODUCCIÓN

Amplificador diferencial

Es un amplificador con dos entradas, dos alimentaciones (positiva y negativa respecto a masa), y una o dos salida.



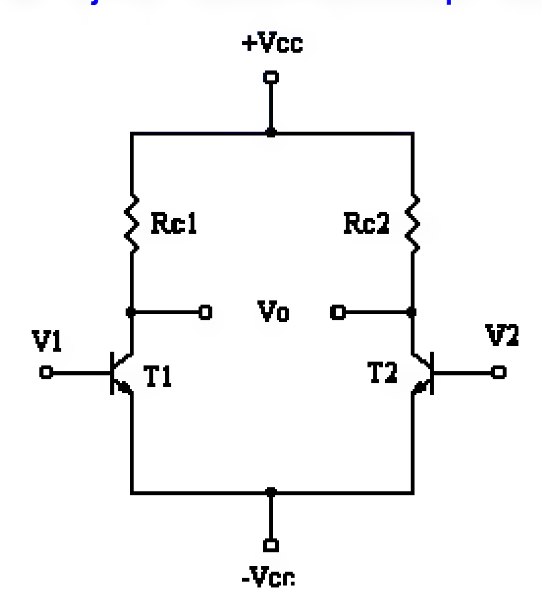
Como tensiones de salida Vs pueden tomarse: Vc1, Vc2 o Vc2-Vc1 (salida flotante)

El amplificador diferencial tiene por objeto amplificar la diferencia entre las tensiones aplicadas a sus entradas, proporcionando una salida Vs que no está influida (en pequeña medida) por cualquier tensión común a las señales de entrada.

$$Vs = A \cdot (V1 - V2)$$

siendo la amplificación o ganancia.

Montaje con transistores de amplificador diferencial.



A la vista del circuito anterior y teniendo en cuenta que tanto T1 y T2 son iguales y que Rc1 y Rc2 también lo son:

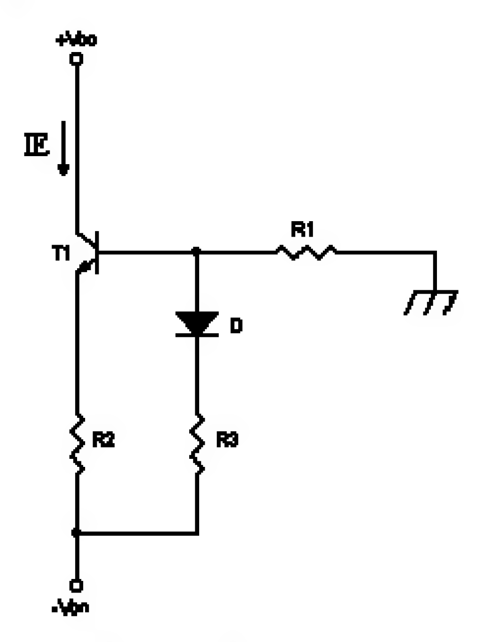
$$Vo = Vc1 - Vc2$$

si consideramos que introducimos una señal igual por V1 y V2, se tiene:

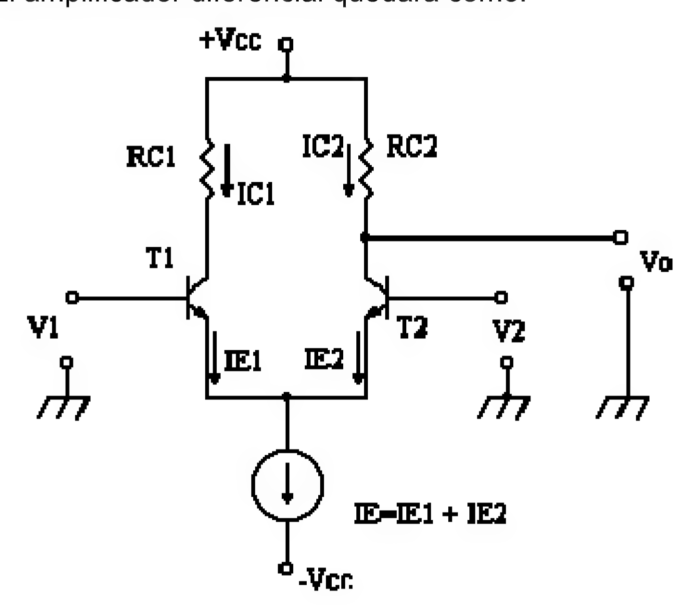
$$\Delta V1 = \Delta V2 \Rightarrow \Delta Vo = 0$$

con lo cual tenemos que la ganancia en modo común es 0.

Si introducimos distintas señales por las entradas, el amplificador diferencial amplificará la diferencia entre las tensiones de entrada, con lo cual, habrá una ganancia de tensión muy alta, la cual se denomina "*Ganancia del amplificador en modo diferencial*". Para mejorar el rendimiento del amplificador diferencial se suele conectar un generador de corriente constante en el emisor. Un circuito utilizado es el de la figura siguiente:



El amplificador diferencial quedará como:



A la vista del circuito anterior, vamos a suponer dos caso con entradas distintas y realizaremos el estudio teórico de lo que sucede en el circuito:

a) Suponemos:

$$\Delta V1 = \Delta V2 \quad \Rightarrow \quad IE1 = cte \Rightarrow \Delta Vo = 0$$

Como se ve, la ganancia de tensión a la salida es cero cuando las entradas son iguales:

b) Suponemos:

$$\Delta V1 > \Delta V2$$
$$\Delta V1 \neq \Delta V2 \Rightarrow IE1 \uparrow \Rightarrow IE2 \downarrow \textit{ debido a } IE = IE1 + IE2 = cte. \Rightarrow Vo \uparrow \Rightarrow \Delta V \textit{ (alta)}$$

En este caso, tenemos una ganancia de tensión alta al introducir señales diferentes.

Amplificador operacional.

Un amplificador operacional es un amplificador diferencial integrado. Su empleo surgió inicialmente en el uso en cálculos matemáticos.

Pueden ser utilizados en lazo abierto (open-loop) o con realimentación (closed-loop). Cuando se emplean en circuito abierto, tienen una ganancia muy elevada (del orden del 10^5); con realimentación, la ganancia viene limitada por la relación entre la impedancia de realimentación dividida por la impedancia de entrada.

Estos circuitos integrados están formados interiormente por tres etapas; entrada o diferencial, intermedia y salida.

Símbolo

+Vcc
V1
Entrada no inversora
Entrada inversora
V2
Vo
-Vcc

Aunque exteriormente puedan tener distintos formatos, e interiormente distintos esquemas, las patillas sueles ser siempre las mismas:

- Dos entradas: inversora y no inversora.
- Una salida.
- Dos terminales de alimentación.

Además puede haber otros terminales dependiendo del tipo de operacional:

- Para regulación del offset.
- Para la compensación en frecuencia.
- Para conectar la masa y efectuar diferentes compensaciones.

Alimentación

El amplificador operacional puede ser polarizado, tanto con tensiones simples cómo con tensiones simétricas. Si utilizamos tensiones simples, a la salida no podremos conseguir valores menores de 0V. EL valor de estas tensiones no suele ser fijo, dando los fabricantes un margen entre un máximo y un mínimo, no teniendo ninguna consecuencia en el funcionamiento del amplificador el valor de tensión que se escoja; las tensiones de salida nunca superaran las tensiones de alimentación.

Amplificador operacional ideal.

Un amplificador operacional ideal debería reunir las siguientes características:

a) Ganancia en lazo abierto (A) infinita.
b) Ancho de banda infinito.
c) Impedancia de entrada infinita.
d) Impedancia de salida nula.

Como consecuencia de estas características, tenemos:

$$Av = \frac{Vo}{Vi} \qquad Vi = \frac{Vo}{AV}$$

Como A tiende a infinito, Vi tenderá a 0. Como Z_i es muy elevada, I_i será 0.

Cuando se cumple Ii=0 y Vi=0, se dice que en la entrada existe una tierra virtual o cortocircuito virtual.

Cortocircuito virtual o tierra virtual es pues el hecho de que entre dos puntos se cumple que a efectos de tensión es un cortocircuito y a efectos de intensidad, un circuito abierto. También podemos decir que es aquel punto de un circuito que estando a 0V de tensión, no consume corriente.

Saturación

Si introducimos en un amplificador operacional (A.O.) una cierta tensión de entrada, a la salida obtendremos esa misma tensión de entrada multiplicada por la ganancia Vo=A(Vi). Por ejemplo, si un A.O. tiene una ganancia de 100.000 e introducimos una tensión de 1 voltio, se comprende fácilmente que a la salida no tendremos 100.000 voltios, sino que la tensión de salida estará limitada por la tensión de alimentación; por consiguiente, la máxima tensión de salida de un A.O. es la tensión de alimentación (más exactamente el 90% de dicha tensión de alimentación); cuando el A.O. está en esta situación, se dice que está saturado.

Formas de trabajo

Las formas de trabajo de A.O. se pueden agrupar en:

a) Sin realimentación (lazo abierto).
b) Con realimentación positiva. Con aplicación en los osciladores.
c) Con realimentación negativa.

También se pueden agrupar en dos:

Aplicaciones no lineales (a y b).
Aplicaciones lineales (c).

Parámetros fundamentales de un A.O.

Ganancia de tensión en bucle abierto

Es, como en todo amplificador, el cociente entre la tensión de salida y la de entrada cuando hay realimentación. En los A.O. actuales se alcanzan valores de 100.000 ó más y es frecuente que el fabricante los especifique en dB.

Impedancia de entrada Z_i

Normalmente expresa la parte resistiva vista desde los terminales de entrada. Son típicos los valores de algunos megaohmios.

Impedancia de salida Zo.

Es asmismo la parte resistiva vista desde los terminales de salida. Son típicos valores entre 100 y 200 ohmios.

Corriente de polarización de entrada (Input Bias Current).

Es la pequeña corriente que se deriva por los terminales de entrada. En general es del orden de algún microamperio.

Margen de tensiones de alimentación.

Indican valores máximos y mínimos para un funcionamiento correcto del A.O. Vienen indicados como V.

Margen de tensiones de entrada Vi.

La tensión en los terminales de entrada no debe superar nunca la de alimentación, pues en caso contrario, podría dañarse el circuito.

Margen de tensiones de salida.

Tal como hemos visto, la tensión máxima a la salida no puede ser superior a la de alimentación y cuando se alcanza esta tensión, se dice que el A.O. está en saturación.

Tensión diferencial de descentrado a la salida (off-set).

En un A.O. ideal, la tensión de salida es nula cuando ambas entradas se hallan a potencial cero. En la práctica, esto no se cumple y aparecen en los circuitos internos de entrada pequeñas tensiones que, una vez amplificadas por la alta ganancia del dispositivo, pueden llevar a la salida incluso hasta el estado de saturación. Para evitar este inconveniente, la mayoría de A.O. poseen métodos externos de corrección, que será conveniente emplear en circuitos en los que se requiera alta precisión (por ejemplo en seguidores de tensión).

Relación de rechazo en modo común CMRR (Common mode rejection ratio).

En un A.O. ideal, la salida es proporcional a la diferencia entre las señales de entrada, siendo ésta nula cuando el valor de ambas entradas es igual. En un A.O. real, esto no se cumple exactamente, y entre dos pares de tensiones que mantengan la misma diferencia, la salida puede ser algo mayor en el caso de tensiones superiores. La CMRR es el cociente entre la amplificación diferencial y la de modo común; y cuanto mayor sea, más se acercará al caso ideal.

Frecuencia de transición.

A esta frecuencia, la ganancia en ciclo abierto del A.O. se reduce a la unidad.

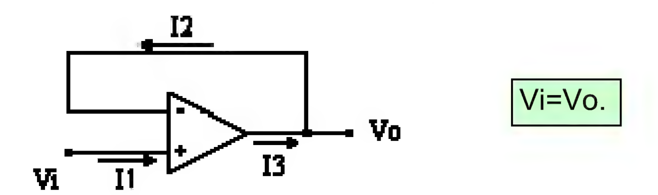
Velocidad de subida (stew-rate).

Es la velocidad de variación a la salida, y son valores típicos de 1V/ s a 10V/ s. Su principal afecto es limitar el ancho de banda de señales grandes.

SEGUIDOR DE TENSIÓN (BUFFER)

El seguidor de tensión es aquel circuito que proporciona a la salida la misma tensión que la entrada, independientemente de la carga que se le acopla, que es tanto como decir, independientemente de la intensidad que se demande.

Esta aplicación es importante en la amplificación de señales que teniendo un buen nivel de tensión son de muy baja potencia, y por tanto, se atenuarían en el caso de conectarlas a amplificadores de mediana o baja impedancia de entrada.

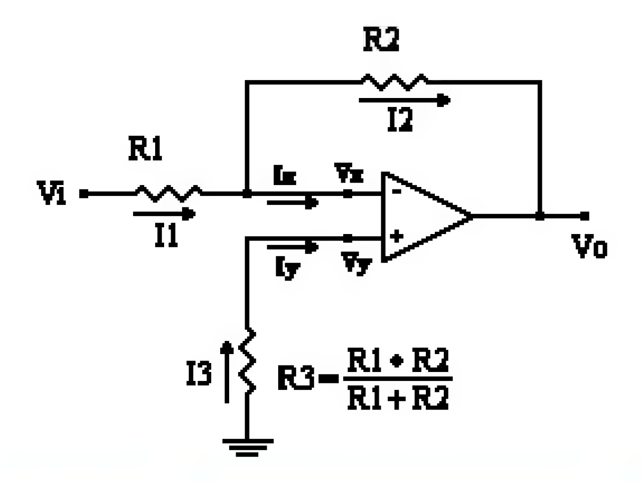


A la vista del circuito de la figura y aplicando el concepto de cortocircuito virtual, tenemos que $I_i=0$ y la tensión en el terminal no inversor es igual que la tensión en el terminal inversor, con lo que podemos afirmar que Vi=Vo. También podemos decir que I2=0 con lo cual la carga demandará la corriente por I3 únicamente, permaneciendo aisladas la entrada y la salida del amplificador operacional.

AMPLIFICADOR INVERSOR

Este montaje se llama así porque la señal de salida es inversa de la de entrada, en polaridad, aunque pude ser mayor, igual o menor, dependiendo de la ganancia que le demos al amplificador en lazo cerrado. La señal, como vemos en la figura, se aplica al terminal inversor o negativo del amplificador, y el positivo o no inversor, se lleva a masa.

R2, que va desde la salida al terminal de entrada negativo, se llama resistencia de realimentación.



$$V_o = -V_i \frac{R2}{R1} \qquad Z_e = \frac{V_i}{I1} = \frac{I1 \cdot R1}{I1} \Rightarrow Z_e = R1 \qquad Z_o = \frac{V_o}{I_o} \text{ para } V_i = 0 \Rightarrow Z_o = 0$$

En todo A.O. podemos decir que:

$$I_x = 0 \quad ; \quad I_y = 0 \quad ; \quad V_x = V_y$$

por tanto si:

$$I_y = 0 \Rightarrow I3 = 0 \Rightarrow V_y = 0 \Rightarrow V_x = 0$$

con lo cual, las corrientes I1 e I2:

$$I1 = \frac{V_i - V_x}{R1} \qquad I2 = \frac{V_x - V_o}{R2}$$

Como quedamos que Vx=0 quedará:

$$I1 = \frac{V_i}{R1} \qquad I2 = \frac{-V_o}{R2}$$

al ser Ix=0: I1=I2 y por lo tanto:

$$\frac{Vi}{R1} = \frac{-Vo}{R2} \Rightarrow Vi \cdot R2 = -Vo \cdot R1$$

al final tenemos:

$$Vo = -Vi\frac{R2}{R1}$$

Fórmula que nos indica que la tensión de salida Vo es la tensión de entrada Vi multiplicada por una ganancia R2/R1. El signo negativo de la expresión indica la inversión de fase entre la entrada y la salida.

Impedancia de entrada:

$$Ze = \frac{Vi}{I1} = \frac{I1 \cdot R1}{I1} \Rightarrow Ze = R1$$

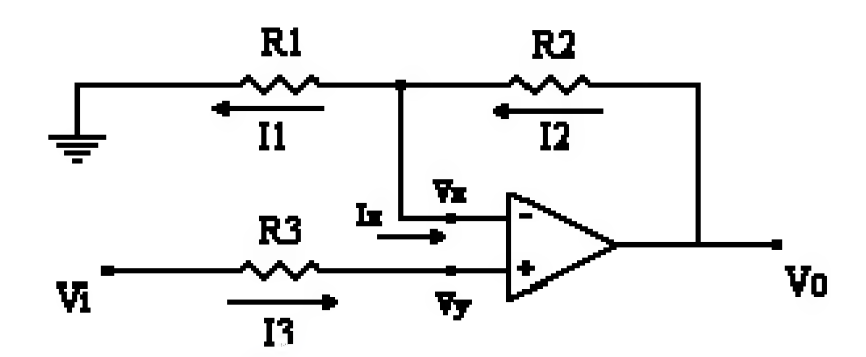
Impedancia de salida:

$$Zo = \frac{Vo}{Io} \quad para \quad Vi = 0 \Rightarrow Zo = 0$$

AMPLIFICADOR NO INVERSOR

Este circuito es muy parecido al inversor; la diferencia es que la señal se introduce por el terminal no inversor, lo cual significa que la señal de salida estará en fase con la señal de entrada.

El análisis matemático será igual que en el montaje inversor.



$$\Rightarrow Vo = \frac{Vi \cdot (R2 + R1)}{R1} \Rightarrow Vo = Vi \cdot \frac{R2}{R1} + 1$$

Nota: R2/R1 + 1 va entre paréntesis

$$Ze = \frac{Vi}{I1} = \frac{I1 \cdot R1}{I1} \quad \Rightarrow \quad Ze = R1$$

$$Zo = \frac{Vo}{Io} \quad para \quad Vi = 0 \quad \Rightarrow \quad Zo = 0$$

R3 = (R1 x R2) / (R1 + R2)

Consideramos:

$$Vx = Vy \quad ; \quad Ix = 0 \quad ; \quad I3 = 0 \quad ; \quad I1 = \frac{Vx - 0}{R1} \quad ; \quad I2 = \frac{Vo - Vx}{R2}$$

Teniendo en cuenta que: Vy=Vi y Vx=Vi tenemos:

$$I1 = \frac{Vi}{R1} \quad I2 = \frac{Vo - Vi}{R2} \quad y\ si \quad Ix = 0 \quad \Rightarrow \quad I2 = I1$$

$$\frac{Vo - Vi}{R2} = \frac{Vi}{R1} \Rightarrow R1 \cdot Vo - R1 \cdot Vi = R2 \cdot Vi \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R1 \cdot Vo = R2 \cdot Vi + R1 \cdot Vi \Rightarrow Vo = \frac{R2 \cdot Vi + R1 \cdot Vi}{R1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Vo = \frac{Vi \cdot (R2 + R1)}{R1} \Rightarrow Vo = Vi \cdot \frac{R2}{R1} + 1$$

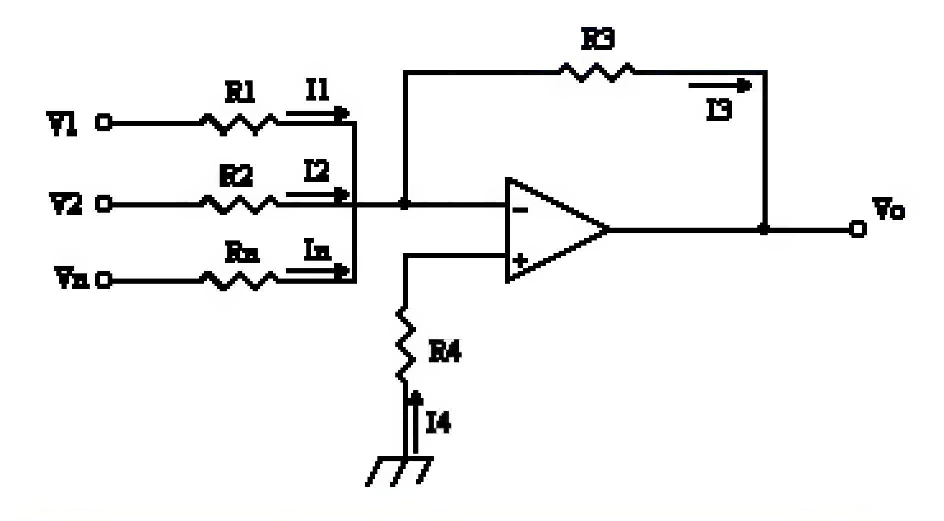
Nota: R2/R1 + 1 va entre paréntesis

en este caso la ganancia será:

$$\frac{Vo}{Vi} = \frac{R2}{R1} + 1$$

Como se ve, la ganancia de este amplificador no puede ser menor que 1. Como en el caso del amplificador inversor R3 es igual a la combinada en paralelo de R2 y R1.

SUMADOR INVERSOR



$$Vo = -R3\left(\frac{Vn}{Rn} + \frac{V2}{R2} + \frac{V1}{R1}\right) \Rightarrow Vo = -\left(V1\frac{R3}{R1} + V2\frac{R3}{R2} + \ldots + Vn\frac{R3}{Rn}\right)$$

R4 = [(Paralelo R1...Rn)] x R3 / [(paralelo R1...Rn) + R3]

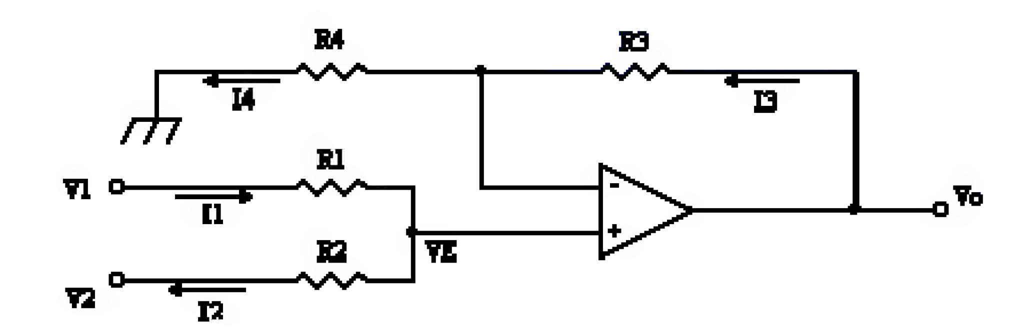
$$I4 = 0 \Rightarrow VR4 = 0$$

$$I1 = \frac{V1 - 0}{R1} \quad I2 = \frac{V2 - 0}{R2} \quad In = \frac{Vn - 0}{Rn} \quad I3 = \frac{0 - Vo}{R3}$$

$$I3 = I2 + I1 + In \Rightarrow \frac{-Vo}{R3} = \frac{Vn}{Rn} + \frac{V2}{R2} + \frac{V1}{R1}$$

$$Vo = -R3\left(\frac{Vn}{Rn} + \frac{V2}{R2} + \frac{V1}{R1}\right) \Rightarrow Vo = -\left(V1\frac{R3}{R1} + V2\frac{R3}{R2} + \ldots + Vn\frac{R3}{Rn}\right)$$

SUMADOR NO IVERSOR



$$\frac{R4 \cdot Vo}{R3+R4} = \frac{V1 \cdot R2 + V2 \cdot R1}{(R1+R2)} \Rightarrow Vo = \frac{(V1 \cdot R2 + V2 \cdot R1)}{R1+R2} \cdot \frac{R3+R4}{R4}$$

Si el valor en paralelo de R1 y R2 es igual al valor en paralelo de R3 y R4:

$$Vo = \frac{R3}{R1} \cdot V1 + V2 \cdot \frac{R3}{R2}$$

$$I1 = I2 \quad I3 = I4$$

$$I4 = \frac{VE-0}{R4} \quad I3 = \frac{Vo-VE}{R3} \quad I1 = \frac{V1-VE}{R1} \quad I2 = \frac{VE-V2}{R2}$$

$$\frac{V1-VE}{R1} = \frac{VE-V2}{R2} \Rightarrow R2(V1-VE) = R1(VE-V2) \Rightarrow$$

$$V1 \cdot R1 - VE \cdot R2 = VE \cdot R1 - V2 \cdot R1 \Rightarrow V1 \cdot R2 + V2 \cdot R1 = VE \cdot R1 + VE \cdot R2 \Rightarrow V1 \cdot R2 + V2 \cdot R1 = VE \cdot (R1+R2) \Rightarrow$$

$$VE = \frac{V1 \cdot R2 + V2 \cdot R1}{(R1+R2)}$$

también tenemos:

$$\frac{Vo-VE}{R3} = \frac{VE}{R4} \Rightarrow R4 \cdot (Vo-VE) = R3 \cdot VE \Rightarrow R4 \cdot Vo - R4 \cdot VE = R3 \cdot VE \Rightarrow R4 \cdot Vo = R3 \cdot VE + R4 \cdot VE \Rightarrow$$

$$R4 \cdot Vo = VE \cdot (R3+R4) \Rightarrow VE = \frac{R4 \cdot Vo}{R3+R4}$$

si igualamos las dos expresiones de VE:

$$\frac{R4 \cdot Vo}{R3+R4} = \frac{V1 \cdot R2 + V2 \cdot R1}{(R1+R2)} \Rightarrow Vo = \frac{(V1 \cdot R2 + V2 \cdot R1)}{R1+R2} \cdot \frac{R3+R4}{R4}$$

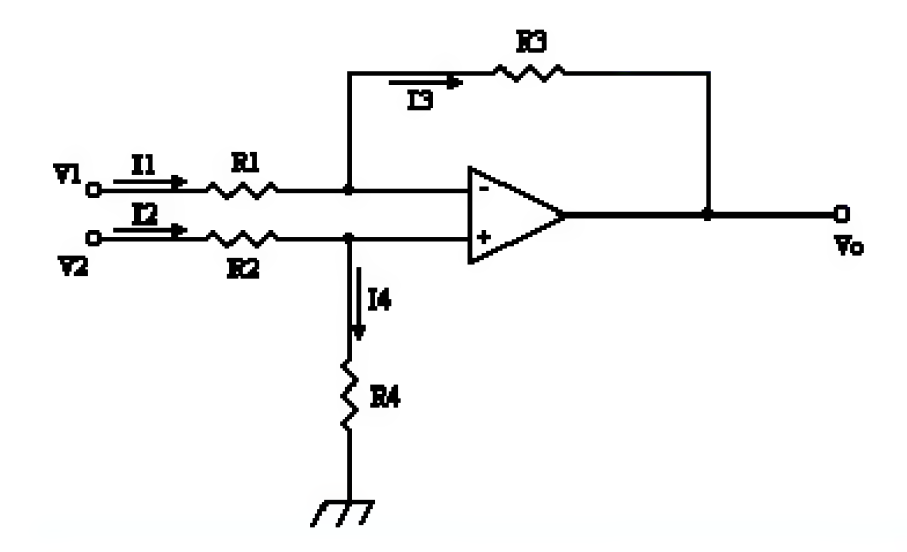
la expresión final de Vo se puede simplificar para el supuesto de que el valor en paralelo de R1 y R2 sea igual al valor en paralelo de R3 y R4.

$$\frac{R1\cdot R2}{R1+R2}=\frac{R3\cdot R4}{R3+R4}\Rightarrow R3+R4=\frac{R3\cdot R4}{R1\cdot R2}\cdot(R1+R2)\Rightarrow$$

$$Vo=\frac{V1\cdot R2+V2\cdot R1}{R1+R2}\cdot\frac{\frac{R3\cdot R4}{R1\cdot R2}(R1+R2)}{R4}=V1R2+V2R1\frac{R3}{R1\cdot R2}$$

$$Vo=\frac{R3}{R1}\cdot V1+V2\cdot\frac{R3}{R2}$$

RESTADOR



$$Vo = \frac{V2 \cdot R4 \cdot (R1 + R3)}{(R2 + R4) \cdot R1} - \frac{R3 \cdot V1}{R1} \Rightarrow Vo = V2 \cdot \frac{R4 \cdot R1 + R4 \cdot R3}{R1 \cdot R2 + R1 \cdot R4} - V1 \cdot \frac{R3}{R1}$$

Si el valor en paralelo de R1 y R3 es igual al valor en paralelo de R2 y R4:

$$Vo = \frac{V2 \cdot R4 \cdot R1 \cdot R3}{R1 \cdot R2 \cdot R4} - \frac{R3 \cdot V1}{R1} \Rightarrow \quad Vo = V2 \cdot \frac{R3}{R2} - V1 \cdot \frac{R3}{R1}$$

$$I1 = I3 \quad I2 = I4$$

$$I1 = \frac{V1 - VE}{R1} \quad I2 = \frac{V2 - VE}{R2} \quad I3 = \frac{VE - Vo}{R3} \quad I4 = \frac{VE}{R4}$$

De I1=I3 deducimos:

$$\frac{V1 - VE}{R1} = \frac{VE - Vo}{R3} \Rightarrow R3 \cdot (V1 - Ve) = R1 \cdot (VE - Vo) \Rightarrow$$

$$R3 \cdot V1 - R3 \cdot VE = R1 \cdot VE - R1 \cdot Vo \Rightarrow R3 \cdot V1 + R1 \cdot Vo = R1 \cdot VE + R3 \cdot VE \Rightarrow$$

$$R3 \cdot V1 + R1 \cdot Vo = VE \cdot (R1 + R3) \Rightarrow VE = \frac{R3 \cdot V1 + R1 \cdot Vo}{R1 + R3}$$

De I2=I4 deducimos:

$$\frac{V2 - VE}{R2} = \frac{VE}{R4} \Rightarrow R4 \cdot V2 - VE \cdot R4 = R2 \cdot VE \Rightarrow$$

$$R4 \cdot V2 = R2 \cdot VE + R4 \cdot VE \Rightarrow R4 \cdot V2 = VE \cdot (R2 + R4) \Rightarrow VE = \frac{R4 \cdot V2}{R2 + R4}$$

Si igualamos las dos expresiones de VE:

$$\frac{R4 \cdot V2}{R2 + R4} = \frac{R3 \cdot V1 + R1 \cdot Vo}{R1 + R3} \Rightarrow (R1 + R3) \cdot (R4 \cdot V2) = (R2 + R4) \cdot (R3 \cdot V1 + R1 \cdot Vo) \Rightarrow$$

$$\frac{(R1 + R3) \cdot (R4 \cdot V2)}{R2 + R4} = R3 \cdot V1 + R1 \cdot Vo \Rightarrow R1 \cdot Vo = \frac{(R1 + R3) \cdot (R4 \cdot V2)}{R2 + R4} - R3 \cdot V1 \Rightarrow$$

$$Vo = \frac{V2 \cdot R4 \cdot (R1 + R3)}{(R2 + R4) \cdot R1} - \frac{R3 \cdot V1}{R1} \Rightarrow Vo = V2 \cdot \frac{R4 \cdot R1 + R4 \cdot R3}{R1 \cdot R2 + R1 \cdot R4} - V1 \cdot \frac{R3}{R1}$$

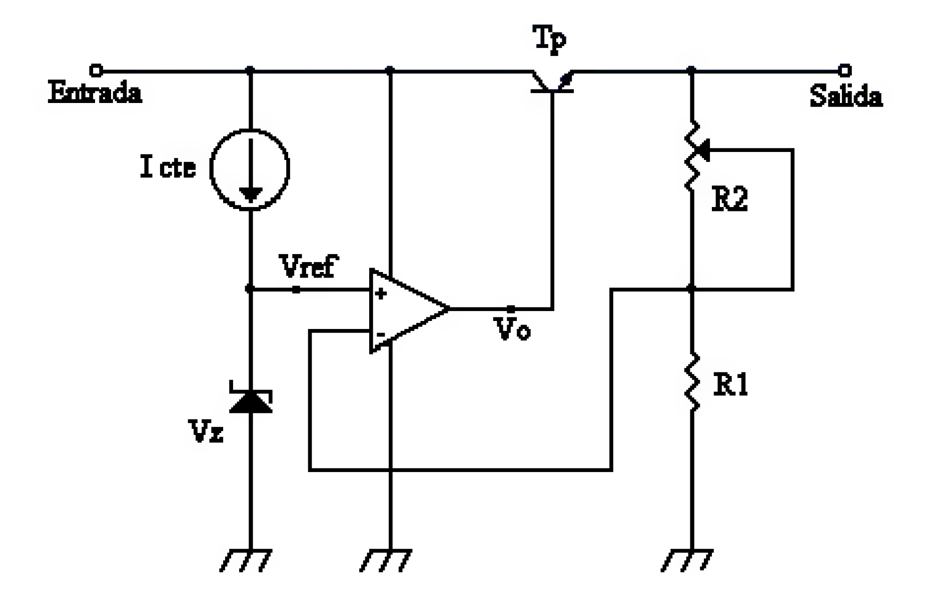
la expresión final de Vo se puede simplificar si se considera que la resistencia combinada en paralelo de R3 y R1 es igual a la resistencia combinada en paralelo de R2 y R4.

$$\frac{R1 \cdot R3}{R1 + R3} = \frac{R2 \cdot R4}{R2 + R4} \Rightarrow \frac{R1 \cdot R3}{R2 \cdot R4} = \frac{R1 + R3}{R2 + R4}$$

$$Vo = \frac{V2 \cdot R4 \cdot R1 \cdot R3}{R1 \cdot R2 \cdot R4} - \frac{R3 \cdot V1}{R1} \Rightarrow \quad Vo = V2 \cdot \frac{R3}{R2} - V1 \cdot \frac{R3}{R1}$$

EMPLEO EN FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Regulador / estabilizador con A.O.



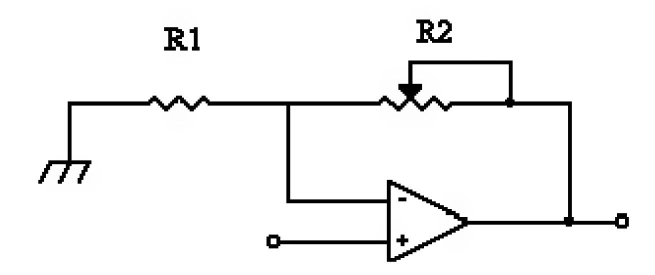
En este circuito, el A.O. trabaja como amplificador no inversor, con ganancia variable.

Se verifica:

$$V_S = V_e\left(\frac{R2}{R1}+1\right) \Rightarrow V_S = V_{ref}\left(\frac{R2}{R1}+1\right)$$

Como mínimo, la tensión de salida será igual a la tensión de referencia.

El circuito simplificado del A.O es el siguiente:



Ejemplo:

Supongamos una Ve entre 22 a 25

Ajustamos R2 para Vs = 10V

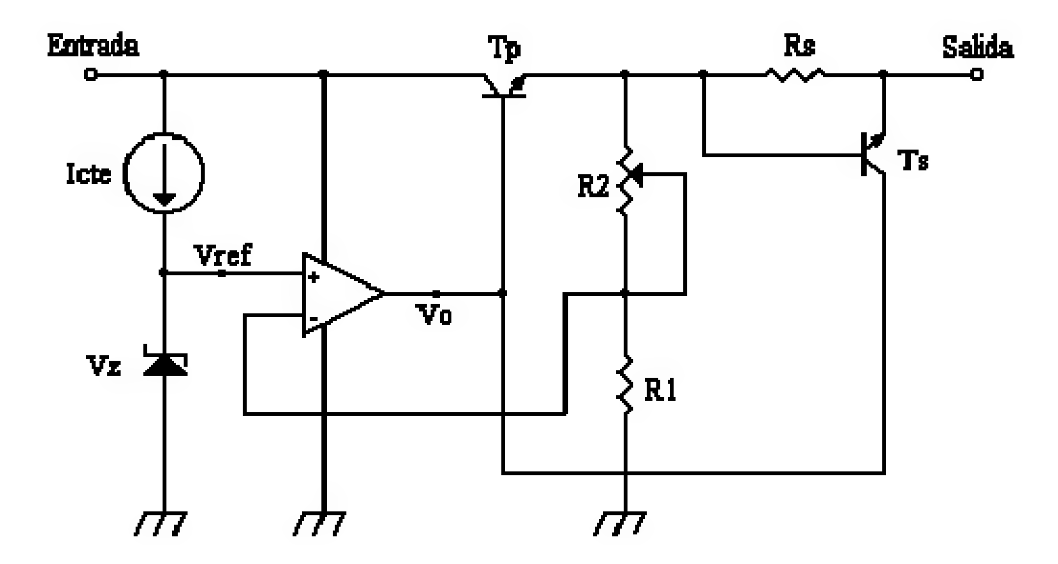
Si aumentara la tensión de salida por alguna circunstancia:

$Vs\uparrow \Rightarrow VR1\uparrow \Rightarrow V(-)\uparrow \Rightarrow Vo\downarrow \Rightarrow Tp \text{ conduce menos} \Rightarrow Vs\downarrow$

Si disminuyera la tensión de salida por alguna circunstancia:

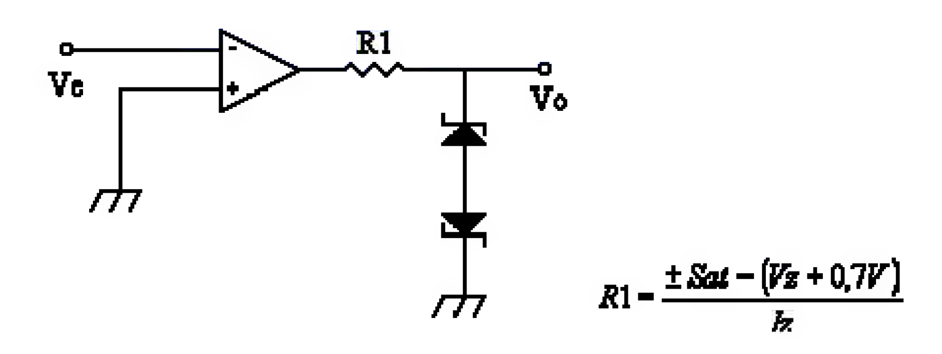
$Vs\downarrow \Rightarrow VR1\downarrow \Rightarrow V(-)\downarrow \Rightarrow Vo\uparrow \Rightarrow Tp \text{ conduce más} \Rightarrow Vs\uparrow$

Protección contra sobreintensidad.

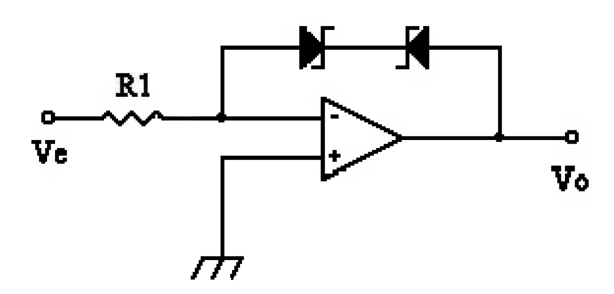


Rs se calcula de tal manera que, cuando la corriente de salida supere un valor dado, en esa resistencia caigan 0,6/0,7V y Ts pase a conducir, con lo que Tp quedará mal polarizado B-E y dejará de conducir.

Limitador de la tensión de salida



$$R1 = \frac{\pm Sat - (Vz + 0{,}7V)}{Iz}$$

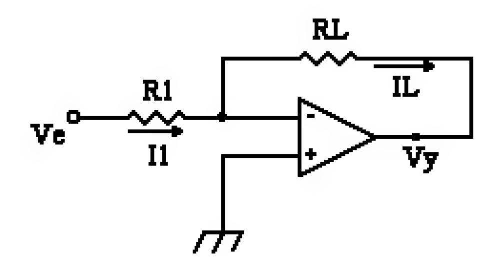


Convertidor de tensión a corriente

Se denominan también como amplificadores transductancia. Estos circuitos se basan en que **la corriente de salida es función de la tensión de entrada e independiente de la resistencia de carga.**

Existen dos circuitos básicos: uno con masa flotante y el otro con masa normal.

Circuito con masa flotante.



RL es la resistencia de carga.

$$I1 = I2 \quad I1 = \frac{Ve}{R1} \quad IL = \frac{-Vy}{RL}$$

$$IL = \frac{Ve}{R1} \Rightarrow IL = Ve\frac{1}{R1} \Rightarrow IL = Ve \cdot K$$

Siendo K la constante de traducción.

RL no podrá tomar cualquier valor y estará limitada por la tensión de saturación (Vcc).

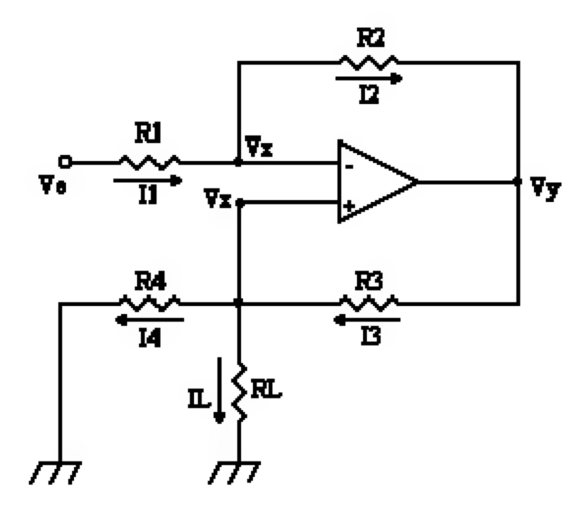
Si:

$$VRL = IL \cdot RL \Rightarrow RL = \frac{VRL}{IL} = \frac{Vcc}{IL}$$

por consiguiente RL podrá tomar valores:

$$desde \quad 0\Omega \quad a \quad \frac{+Vcc}{IL}\Omega$$

Circuito con masa normal.



Se verifica:

$$I3 = I4 + IL \quad I1 = I2 \quad I1 = \frac{V2 - Vx}{R1} \quad I2 = \frac{Vx - Vy}{R2} \quad I3 = \frac{Vy - Vx}{R3} \quad I4 = \frac{Vx}{R4} \quad IL = \frac{Vx}{RL}$$

Si:

$$IL = I3 - I4 \Rightarrow IL = \frac{Vy - Vx}{R3} - \frac{Vx}{R4} \qquad [1]$$

Si:

$$I1 = I2 \Rightarrow \frac{Ve - Vx}{R1} = \frac{Vx - Vy}{R2} \Rightarrow Vx - Vy = \frac{R2}{R1}(Ve - Vx) \Rightarrow \frac{Ve \cdot R2}{R1} - \frac{Vx \cdot R2}{R1} \Rightarrow$$

$$-(Vx - Vy) = -\frac{Ve \cdot R2}{R1} - \frac{Vx \cdot R2}{R1} \Rightarrow Vy - Vx = \frac{Vx \cdot R2}{R1} - \frac{Ve \cdot R2}{R1}$$

Retomando la fórmula [1] y sustituyendo:

$$IL = \frac{\frac{Vx \cdot R2}{R1} - \frac{Ve \cdot R2}{R1}}{R3} - \frac{Vx}{R4} \Rightarrow IL = \frac{Vx \cdot R2}{R1 \cdot R3} - \frac{Ve \cdot R2}{R1 \cdot R3} - \frac{Vx}{R4} \Rightarrow IL = Vx\left(\frac{R2}{R1 \cdot R3} - \frac{1}{R4}\right) - \frac{Ve \cdot R2}{R1 \cdot R3} \Rightarrow \frac{R2}{R1 \cdot R3} - \frac{1}{R4} = 0$$

Si hacemos que R1=R2

$$\frac{1}{R3} - \frac{1}{R4} = 0$$

Si hacemos que R3=R4

$$IL = -Ve\frac{1}{R4} \quad \Rightarrow \quad -Ve = R4 \cdot IL$$

El valor máximo para RL será:

Si VR3+VRL > -Vcc no funciona.

$$VL + VR3 < Vcc \Rightarrow IL \cdot RL + R3 \cdot (IL + I4) < Vcc \Rightarrow IL \cdot RL + R3 \cdot IL + R3\frac{Vx}{R4} < Vcc \Rightarrow$$

$$IL \cdot RL + R3 \cdot IL + R3\frac{RL \cdot IL}{R4} < Vcc \Rightarrow RL \cdot \left(IL + \frac{R3 \cdot IL}{R4}\right) + R3 \cdot IL < Vcc \Rightarrow$$

$$RL < \frac{Vcc - R3 \cdot IL}{IL + \frac{R3 \cdot IL}{R4}} \Rightarrow R3 = R4 \Rightarrow RL < \frac{Vcc - R3 \cdot IL}{IL + IL} \Rightarrow RL < \frac{Vcc - R3 \cdot IL}{2 \cdot IL}$$

Es decir, RL tomará valores:

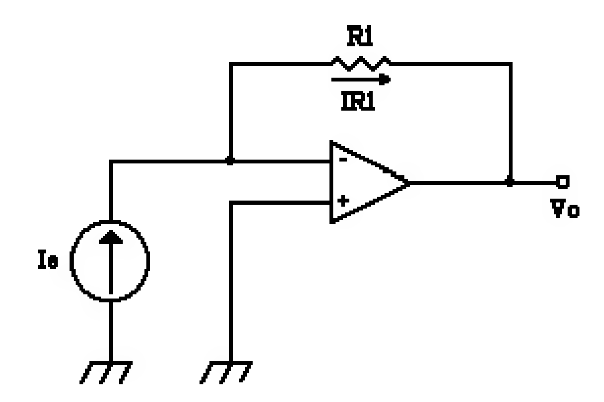
$$entre \quad 0\Omega \quad y \quad \frac{Vcc - R3 \cdot IL}{2 \cdot IL}\Omega$$

Convertidor de corriente a tensión

También llamados amplificadores de transresistencia. Responden a la necesidad de construir fuentes de tensión constante independiente de la carga y controlados por corriente.

Existen dos circuitos básicos: con la salida invertida y con la salida no invertida.

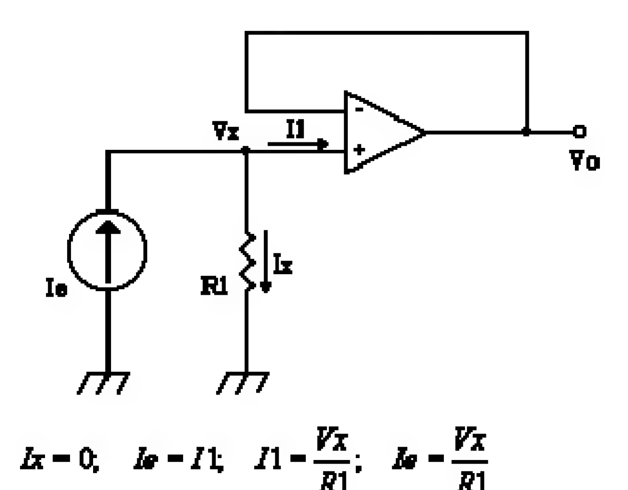
Salida invertida



$$\left\{ Ie = IR1; \quad IR1 = \frac{-Vo}{R1}; \quad Ie = \frac{-Vo}{R1} \right\} \Rightarrow -Vo = Ie \cdot R1 \Rightarrow Vo = -(Ie \cdot R1) \Rightarrow Vo = Ie \cdot K$$

Siendo K la constante de traducción -R1.

Salida no invertida



$$Ix = 0; \quad Ie = I1; \quad I1 = \frac{Vx}{R1}; \quad Ie = \frac{Vx}{R1}$$

En la masa virtual tenemos:

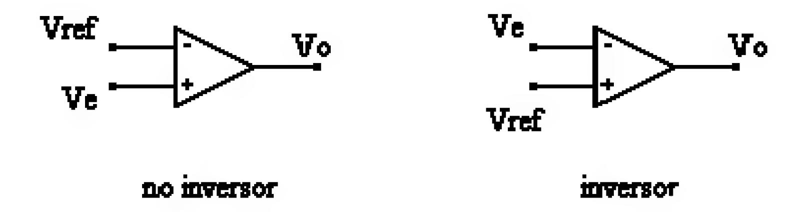
$$Is = \frac{Vo}{R1} \Rightarrow Vo = Is \cdot R1$$

Siendo K = R1

COMPARADOR DE TENSIÓN

Tienen como misión comparar una tensión variable con otra, normalmente constante, denominada tensión de referencia, dándonos a la salida una tensión positiva o negativa. Se basan en hacer trabajar a saturación los A.O. dando a la salida una tensión Vcc.

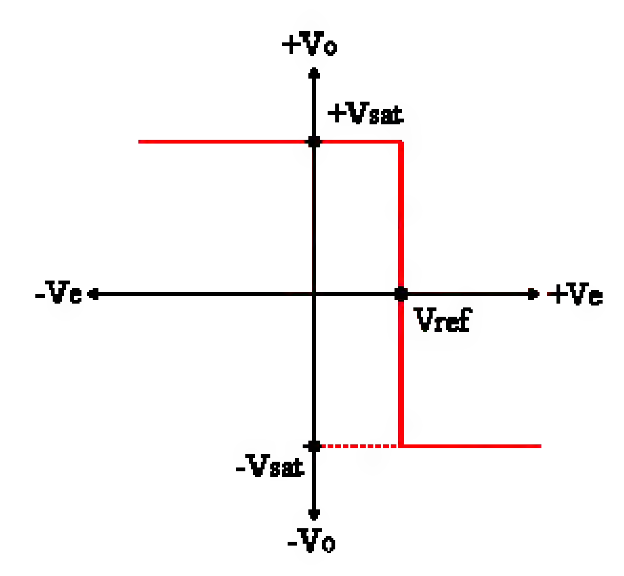
Existen dos tipos básicos de comparadores:



Transferencia de salida en un circuito inversor.

Se observa que:

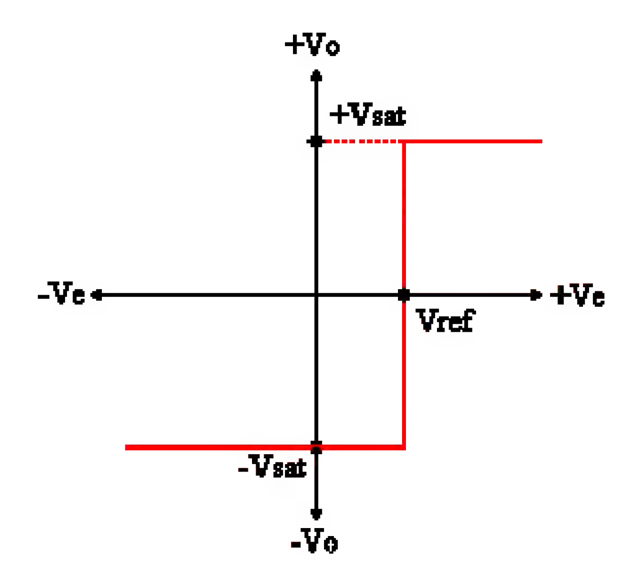
$$Si \quad Ve < Vref \Rightarrow Vo = +Vsat$$
$$Si \quad Ve > Vref \Rightarrow Vo = -Vsat$$



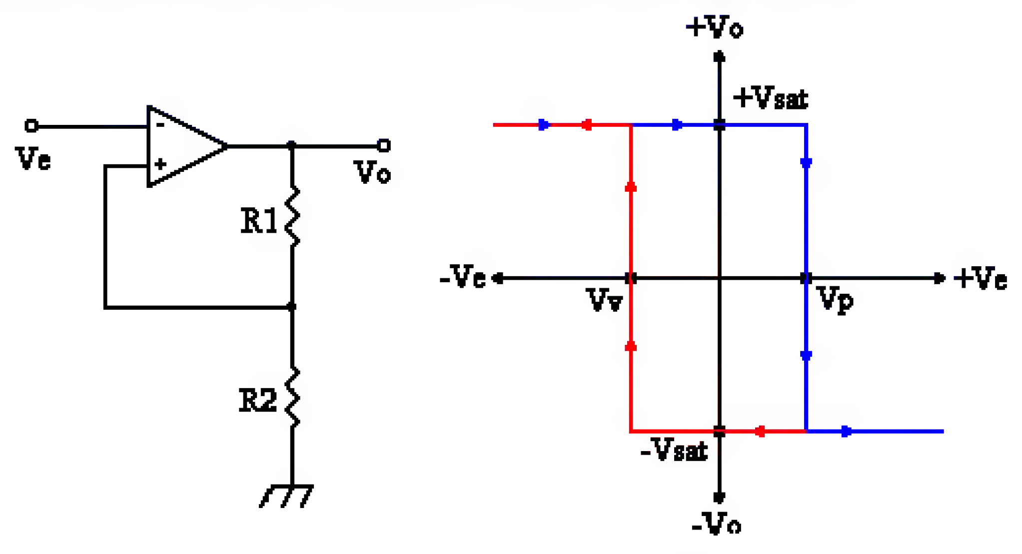
Transferencia de salida en un circuito no inversor.

Se observa que:

$Si \quad Ve < Vref \Rightarrow Vo = -Vsat$
$Si \quad Ve > Vref \Rightarrow Vo = +Vsat$



Comparador inversor con histéresis o comparador regenerativo.



Mientras la señal de entrada esté entre los valores de Vv y Vp, la salida no cambiará de estado.

En este comparador la señal de entrada Ve puede oscilar entre una gama de valores antes que la salida cambie de estado.

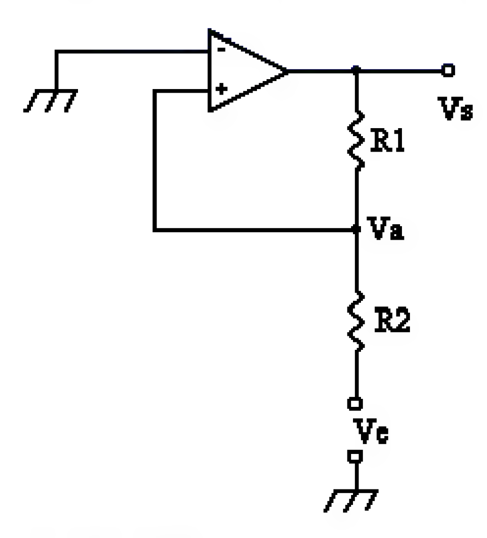
En principio si Ve < 0, la salida Vo satura a positivo. Si queremos cambiar de estado la salida, deberemos aplicar una Ve mayor que VR2. Esta tensión deberá ser:

$$Vp = \frac{+Vsat}{R1+R2} \cdot R2$$

Una vez superada Vp, el operacional saturara a negativo por lo cual para volver a cambiar su estado deberemos aplicar una tensión más negativa que la VR2. Es decir:

$$Vp = \frac{-Vsat}{R1+R2} \cdot R2$$

Comparador no inversor con histéresis.



Supongamos:

Vsal = + Vsat

$$Va = Ve + VR2 \Rightarrow VR2 = \frac{+Vsat - Ve}{R1+R2} \Rightarrow Va = Ve + \frac{R2 \cdot +Vsat - R1 \cdot Ve}{R1+R2} \Rightarrow$$

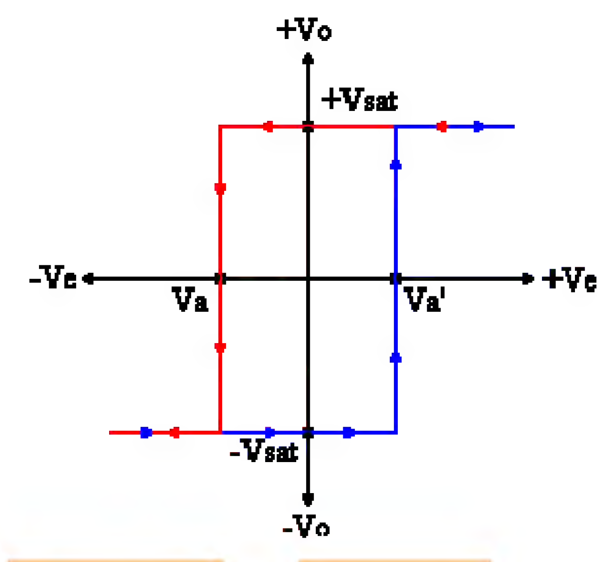
$$Va = \frac{Ve \cdot (R1+R2)}{R1+R2} + \frac{(R2 \cdot +Vsat) - (R2 \cdot Ve)}{R1+R2} = \frac{(Ve \cdot R1) + (Ve \cdot R2)}{R1+R2} + \frac{(Vsat \cdot R2) - (Ve \cdot R2)}{R1+R2} =$$

$$\frac{Ve \cdot R1}{R1+R2} + \frac{Ve \cdot R2}{R1+R2} + \frac{Vsat \cdot R2}{R1+R2} - \frac{Ve \cdot R2}{R1+R2} = \frac{Ve \cdot R1}{R1+R2} + \frac{Vsat \cdot R2}{R1+R2}$$

$$Va > 0 \Rightarrow Vsal = +Vsat$$

$$Ve \cdot R1 + Vsat \cdot R2 > 0 \Rightarrow Ve \cdot R1 > -Vsat \cdot R2$$

$$Ve > \frac{-Vsat \cdot R2}{R1} \Rightarrow +Vsat$$

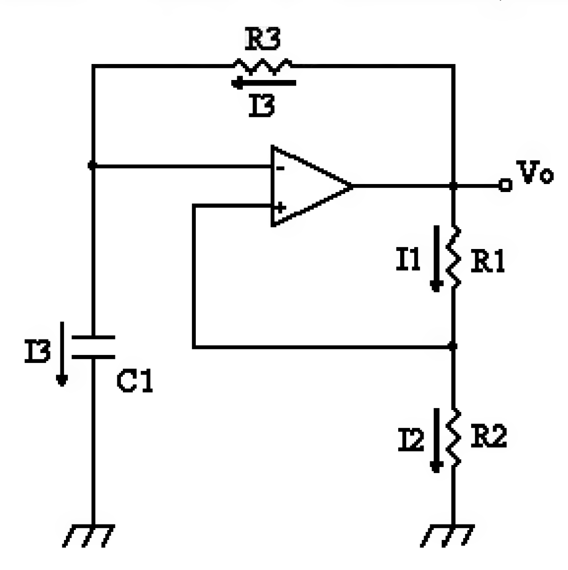


$$Va = -\frac{Vsat \cdot R2}{R1}$$

$$Va' = \frac{Vsat \cdot R2}{R1}$$

MULTIVIBRADOR ASTABLE. GENERADOR DE ONDA CUADRADA

Utilizando realimentación positiva y negativa a la vez en un operacional, es posible diseñar un oscilador de onda cuadrada, también denominado mutivibrador astable.



En esencia, el funcionamiento es el siguiente: por las propias asimetrías del circuito o del operacional, una de las entradas del operacional tendrá más tensión que la otra, lo que hará que, en cuanto se conecte la alimentación, entre en saturación.

Si el A.O. está saturado positivamente, C1 se cargará a traves de R3. Esta tensión de C1 se compara con la tensión en R2 (que es una fracción de Vs) de forma que cuando Vc llegue a igualar a la tensión en R2, el A.O. (comparador) se equilibrara Vs=0V con lo que aplica 0V al terminal no inversor y como en el inversor hay una tensión VC positiva, el operacional satura inmediatamente a negativo, estableciéndose una proceso de descarga y carga en sentido contrario del condensador, hasta que VC llega de nuevo a igualar la tensión en R1, momento en que el comparador se equilibra de nuevo Vs=0V, y como consecuencia se comparan los 0V en la entrada no inversora con la tensión negativa de C1 en la inversora, lo que hace que el A.O. sature a positivo. Se inicia así un nuevo ciclo en el que se vuelve a repetir el proceso anterior y sucesivamente, la Vs pasará de la saturación positiva a la negativa, con lo que la onda resultante será una onda cuadrada.

A la hora de realizar los cálculos del circuito nos encontramos con un problema: ¿cuánto tiempo pasa en un condensador de tener una tensión a tener otra?. Esta pregunta la contestaremos con la siguiente expresión matemática:

$$V_{C(t)} = V_{C(\infty)} + \left[\left(V_0 - V_{C(\infty)}\right)\right] \cdot e^{\frac{-t}{\tau}}$$

Siendo:

$V_{C(t)} =$ Tensión del condensador en el cual queremos conocer el tiempo.

$Vc_{(\infty)}$ = Tensión a la cual se pretende cargar el condensador (tensión en régimen permanente).

V_0 = Tensión del condensador en el estado inicial.

τ = Constante de carga (R · C)

En el circuito que nos ocupa tenemos:

$$Vc_{(t)} = +Vsat + \frac{R2}{R1+R2}; \quad Vc_{(\infty)} = +Vsat; \quad V_0 = -Vsat \cdot \frac{R2}{R1+R2}$$

la expresión quedaría:

$$+Vsat\frac{R2}{R2+R1} = +Vsat + \left[-Vsat\frac{R2}{R1+R2} - Vsat\right]\cdot e^{\frac{-t}{\tau}}$$

devidiendo los dos términos por +Vsat:

$$\frac{R2}{R1+R2} - 1 = \left(\frac{-R2}{R1+R2} - 1\right)\cdot e^{\frac{-t}{\tau}} \Rightarrow \frac{R2}{R1+R2} - 1 = \left(\frac{-R2}{R1+R2} - 1\right)\cdot e^{\frac{-t}{\tau}} \Rightarrow$$

$$\frac{R2-R1-R2}{R1+R2} = \left(\frac{-R2-R1-R2}{R1+R2}\right)\cdot e^{\frac{-t}{\tau}} \Rightarrow -\frac{R1}{R1+R2} = \left(\frac{-2R2-R1}{R1+R2}\right)\cdot e^{\frac{-t}{\tau}} \Rightarrow$$

$$-\frac{R1}{R1+R2} = -\left(\frac{2R2+R1}{R2+R1}\right)\cdot e^{\frac{-t}{\tau}} \Rightarrow \frac{R1}{R1+R2} = \left(\frac{2R2+R1}{R1+R2}\right)\cdot e^{\frac{-t}{\tau}} \Rightarrow R1 = (2R2+R1)\cdot e^{\frac{-t}{\tau}} \Rightarrow$$

$$\frac{R1}{2R2+R1} = e^{\frac{-t}{\tau}} \Rightarrow \ln\frac{R1}{2R2+R1} = \ln e^{\frac{-t}{\tau}}$$

Aplicando la propiedad de los logaritmos neperianos que: $\ln e^x = x \ln e$

$$\ln\frac{R1}{2R2+R1} = \frac{-t}{\tau}\ln e$$

pero como ln e = 1

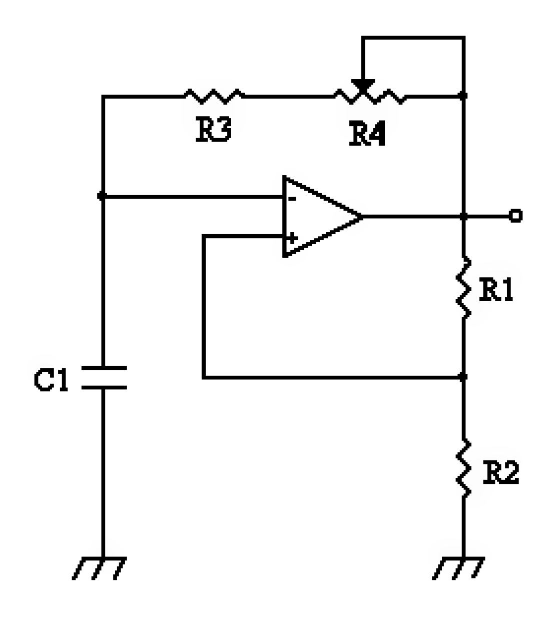
$$\ln\frac{R1}{2R2+R1} = \frac{-t}{\tau}$$

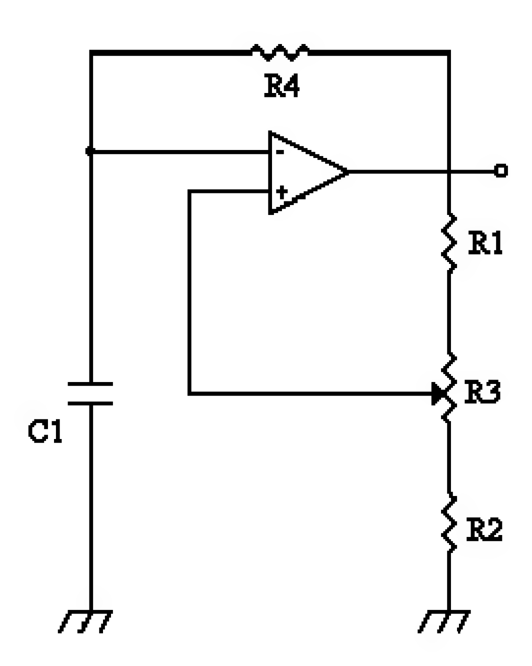
Aplicando otra propiedad de los logaritmos neperianos que dice que: $\ln\frac{a}{b} = -\ln\frac{b}{a}$

$$-\ln\frac{2R2+R1}{R1} = -\frac{t}{\tau} \Rightarrow t = \tau\ln\frac{2R2+R1}{R1}$$

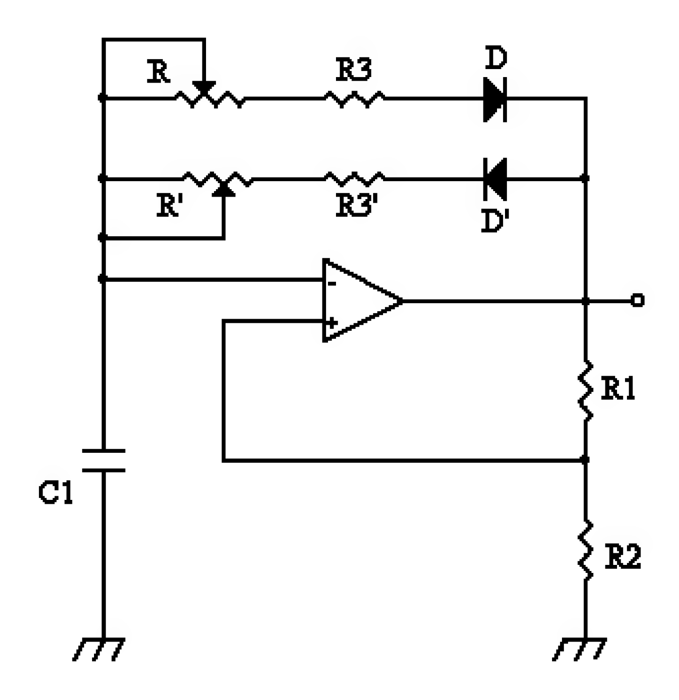
el periodo será T=2 t al ser t1 y t2 iguales.

Obtención de frecuencias variables



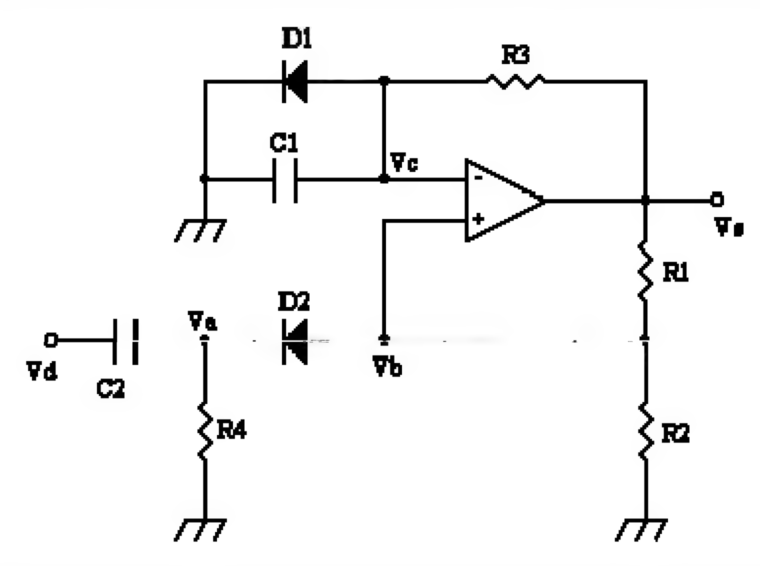


Obtención de t1 y t2 disntintos y variables



MULTIVIBRADOR MONOASTABLE

Un circuito monoestable es un circuito que tiene un estado estable, en el que puede permanecer indefinidamente en ausencia de excitación externa. Cada vez que se le aplica un impulso de disparo, la salida del circuito cambia de estado, pasando a otro llamado metaestable, permaneciendo en éste un cierto tiempo, determinado por los elementos del circuito, finalizado el cual vuelve al estado estable.



En el circuito de la figura, el A.O. está comparando continuamente las tensiones Vc y Vb. El estado inicial del circuito se considera saturado en +Vsat, lo cual implica que C1 se cargará con una tensión positiva, la cual la fija el D1, polarizado directamente, con lo cual VC1=0,7V. La tensión en la entrada inversora (0,7V) es menor que la de la entrada no inversora $\frac{+Vsat + (R2 \parallel R4)}{R1 + (R2 \parallel R4)}$ siendo (R2 || R4) la combinada en paralelo de R2 y R4.

En el momento de introducir un impulso negativo por Vd es integrado por la célula C2, R4, apareciendo en Vb una señal menos positiva que antes del impulso, si la tensión en Vb es menor que la que hay en Vc, es decir 0,7V el A.O. saturará a negativo lo cual implica que C1 descargue los 0,7V y comience a cargarse con una tensión negativa. cuando esta tensión disminuya (sea más negativa) que la tensión en Vb ($\frac{-Vsat \cdot R2}{R1 + R2}$ ya que D2 estará polarizado inversamente) el A.O. volverá a saturar a positivo, descargando C1 y cargándose a 0,7V, a este tiempo de carga y descarga de C1 se le denomina de transición y durante el mismo no puede haber otro impulso de disparo.

Cálculo de tiempo t.

$$Vc_{(t)} = Vc_{(\infty)} + (VC_{(0)} - VC_{(\infty)}) \cdot e^{\frac{-t}{\tau}}$$

$$-Vsat\frac{R2}{R1 + R2} = -Vsat + (0 - (-Vsat)) \cdot e^{\frac{-t}{\tau}}$$

Desprecíamos $VC_{(0)}$ los 0,7V del condensador.

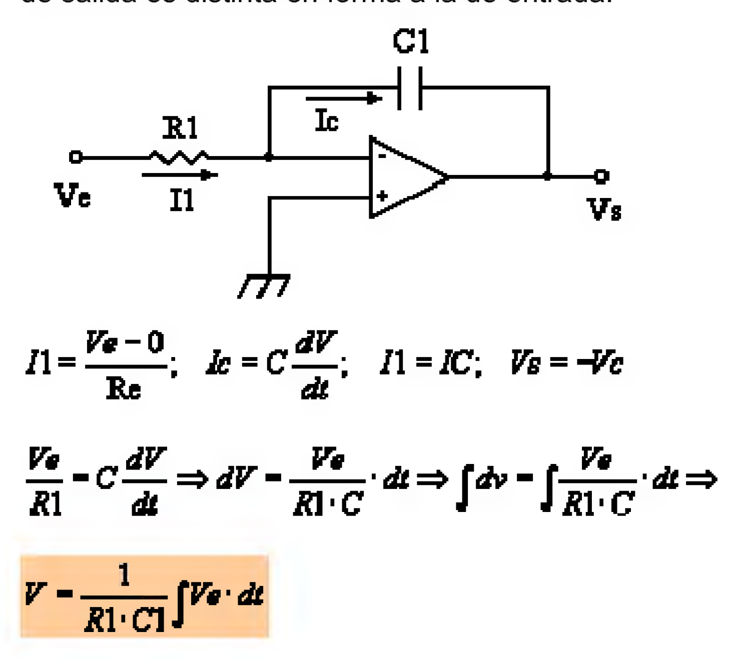
$$\frac{-R2}{R1+R2} = -1+(1)\cdot e^{\frac{-t}{\tau}} \Rightarrow 1-\frac{R2}{R1+R2} = e^{\frac{-t}{\tau}} \Rightarrow \ln\left(\frac{R2+R1-R2}{R2+R1}\right) = \frac{-t}{\tau}\ln e \Rightarrow$$

$$ya\ que\ \ln e \approx 1 \Rightarrow -\ln\frac{R2+R1}{R1} = -\frac{t}{\tau} \Rightarrow t = \tau\left(\ln\frac{R2+R1}{R1}\right)$$

$$t = (R3\cdot C1)\cdot\left(\ln\frac{R2+R1}{R1}\right)$$

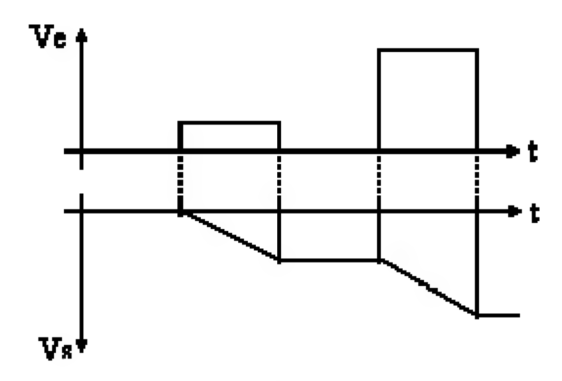
INTEGRADOR

Este circuito, como se ve en la figura, tiene realimentación negativa, con lo cual se podría pensar que es una aplicación lineal, pero no es así. Se cumplen todas las características para ser una aplicación lineal, es decir, masa virtual y el A.O. no trabaja a la saturación, y lo único que hace que no sea una aplicación lineal, es que la onda de salida es distinta en forma a la de entrada.



Respuesta del circuito a un impulso.

Un impulso lo podemos descomponer como una sucesión de tensiones constantes. Se ve que el circuito es un generador de corriente constante, con lo cual el condensador se carga con una tensión que varía linealmente, hasta alcanzar la tensión de saturación.

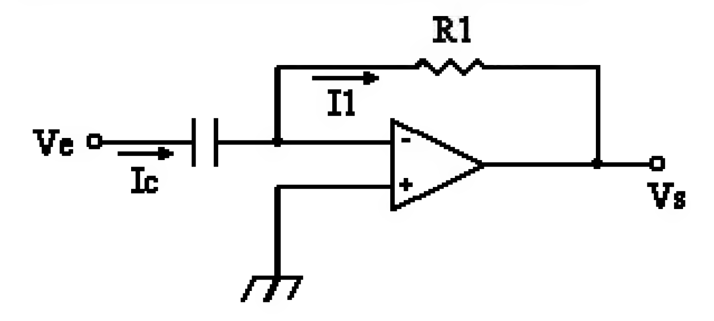


Estas señales se pueden ver en el gráfico. Se observa que en ausencia de señal de entrada, el condensador permanecerá cargado. Esto es muy importante a tener en cuenta cuando la tensión de entrada sean impulsos repetitivos, y deseemos que el condensador empiece cada ciclo con carga 0, para solucionar este problema

colocamos en paralelo una resistencia con el condensador, de alto valor (por ejemplo 100K).

DIFERENCIADOR

Esta aplicación de los A.O., como en el caso anterior, no es lineal; la señal de salida es diferente en forma con la señal de entrada.

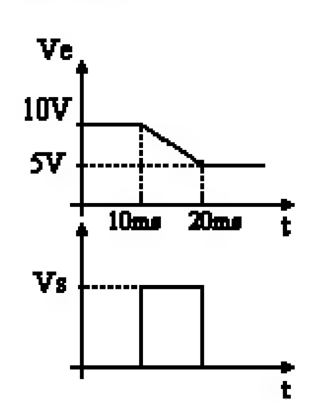


$$Ic = C\frac{dV}{dt};\quad I1 = \frac{-Vs}{R1};\quad Ic = I1;\quad Vs = -VR1$$

$$C\frac{dV}{dt} = \frac{-Vs}{R1} \Rightarrow Vs = -C \cdot R1\frac{dV}{dt}$$

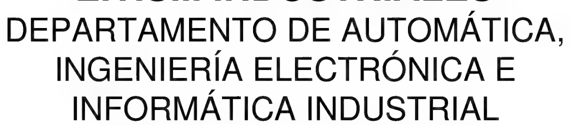
Si Ve es una rampa lineal, C se cargará con corriente constante que proporciona el A.O. pasando por R1 y produciendo en R1 una caída de tensión constante que será igual que la tensión de salida.

Ejemplo:



$$Vs = -C \cdot R1\frac{dV}{dt} \Rightarrow Vs = -C \cdot R1\frac{10-5}{20-10} \Rightarrow Vs = -C \cdot R1\frac{5}{10} \Rightarrow Vs = -C \cdot R1 \cdot 0{,}5$$





UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
E.T.S.I. INDUSTRIALES
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA,
INGENIERÍA ELECTRÓNICA E
INFORMÁTICA INDUSTRIAL



PRÁCTICAS DE LABORATORIO

División de Ingeniería Electrónica



AMPLIFICADORES OPERACIONALES I
Aplicaciones lineales

Curso 2000/2001

AMPLIFICADORES OPERACIONALES I
Aplicaciones lineales

1.- INTRODUCCION

Un amplificador operacional (abreviadamente OP. AMP.) es un amplificador lineal de elevada ganancia, directamente acoplado, al que se le agrega una realimentación externa para controlar la característica de respuesta. Se utiliza en una amplia variedad de funciones lineales y no lineales y ofrece todas las ventajas de los circuitos integrados monolíticos; tales como, pequeño tamaño, gran seguridad de funcionamiento, coste reducido, regulación con la temperatura y pequeña desviación (offset) de tensión y corriente.

El término amplificador operacional fue utilizado originalmente para describir amplificadores capaces de ejecutar operaciones matemáticas en computadores analógicos. Hoy día, las aplicaciones de los amplificadores operacionales van mucho mas lejos que las simples operaciones matemáticas; se utilizan en un gran número de sistemas de control e instrumentación, sirviendo como: reguladores de tensión, osciladores, amplificadores logarítmicos, detectores de pico, comparadores, etc.

2.- AMPLIFICADOR OPERACIONAL BASICO

En la figura 1 puede verse el diagrama esquemático de un amplificador operacional y su circuito equivalente. Generalmente estos amplificadores tienen entrada diferencial, con tensiones externas u_2 y u_1 aplicadas a los terminales inversor y no inversor respectivamente, obteniéndose en la salida una tensión u_o sobre una carga R_L. Por supuesto, para que el amplificador operacional funcione como tal, es necesario suministrarle tensiones de alimentación de contínua, normalmente simétricas (±12V, ±15V, etc.), entre dos terminales dispuestos a tal efecto y señalizados normalmente como $+U_{cc}$ y $-U_{cc}$.

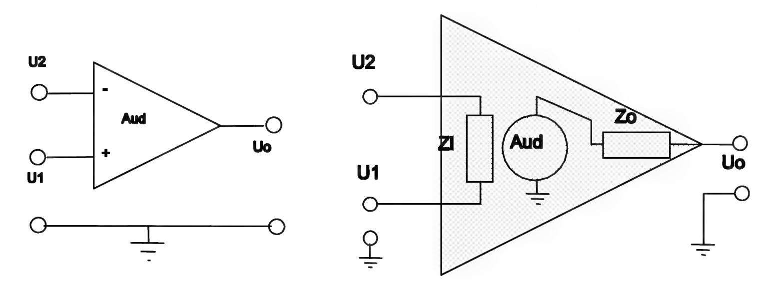


Figura 1.- Amplificador operacional y circuito equivalente

2.1.- Amplificador operacional ideal y real

Un amplificador operacional ideal sería aquel que presentase las siguientes características:

- Resistencia de entrada infinita, $R_i = \infty$.
- Resistencia de salida nula, $R_o = 0$.
- Ganancia de tensión diferencial infinita, $A_{ud} = \infty$.
- Ancho de banda infinito, $\Delta f = \infty$.
- Ganancia de tensión en modo común nula, $A_{uc} = 0$.
- Ausencia de desviación en las características con variaciones de la temperatura.

Esta representación del amplificador operacional es la utilizada en la mayoría de los casos para resolver las ecuaciones de los distintos circuitos que se pueden realizar. No obstante, es preciso tener en cuenta que los amplificadores operacionales son elementos físicos que tienen unas características reales que distan de ser las anteriores; éstas son:

- Resistencia de entrada mayor que 1 MΩ.
- Resistencia de salida del orden de 75Ω.
- Ganancia de tensión diferencial $A_{ud} \geq 10^5$.
- Ancho de banda para ganancia unidad Δf = 1 MHz.
- Razón de rechazo en modo común RRMC = 90 dB.
- Dependencia de algunos parámetros con la temperatura.

Así pues, teniendo en cuenta estas características reales de los amplificadores operacionales, la expresión de la señal de salida en función de las de entrada al amplificador en bucle abierto sería:

$$u_o = A_{ud}\,(u_1 - u_2) + A_{uc}\,(u_1 + u_2)/2 = A_{ud}\,u_d + A_{uc}\,u_c$$

siendo:

A_{ud} - ganancia diferencial de tensión.
A_{uc} - ganancia de tensión en modo común.
u_d - tensión diferencial de entrada.
u_c - tensión de modo común de entrada.

El amplificador será mas ideal, respecto a la ganancia, cuanto más se acerque a la condición $|A_{ud}| \gg |A_{uc}|$. Para obtener una indicación de la bondad del amplificador a ese respecto, se define la denominada razón de rechazo de modo común (RRMC) de la siguiente forma:

$$RRMC = \rho = \frac{\text{mod } A_{ud}}{\text{mod } A_{uc}}$$

es evidente que cuanto mayor sea esta relación mejor será el amplificador en referencia a la ganancia diferencial.

3.- REALIMENTACION

La clave para el uso del amplificador operacional en cierto tipo de aplicaciones, como son las aplicaciones lineales, es la retroalimentación negativa; que proporciona un aumento en la estabilidad de la ganancia, una reducción de la impedancia de salida y una mejora de la linealidad.

Cuando se realiza una conexión de retroalimentación entre la salida y la entrada inversora del amplificador operacional, como se indica en la figura 2, con la entrada no inversora a tierra; la entrada inversora se mantiene virtualmente a tierra y la salida es realimentada para mantener esta condición. En términos generales puede decirse que ambas entradas están al mismo potencial; por otra parte, por tener una impedancia de entrada muy elevada (idealmente ∞), las corrientes por ambas entradas serán muy pequeñas (idealmente nulas), pudiendo establecerse para el circuito de la figura 2 las ecuaciones siguientes:

$$i_i = i_s + i_f = i_f$$

puesto que $i_s = 0$; por otra parte se tiene:

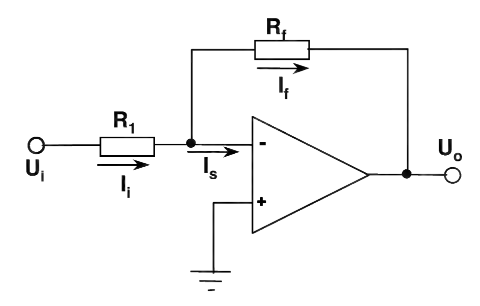


Figura 2.- Realimentación negativa

de donde finalmente se deduce el valor de A_u:

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{R_f}{R_1}$$

Por tanto, la *ganancia en bucle cerrado* del amplificador operacional, cuando se aplica retroalimentación negativa, es controlada solamente por la relación entre la resistencia de realimentación R_f y la resistencia de entrada R_1 del circuito externo; esto es, no depende en nada de la ganancia intrínseca del amplificador operacional. Esta configuración de amplificador inversor es una de las mas utilizadas comúnmente en los circuitos electrónicos.

En caso de que la señal u_i se introduzca por la entrada no inversora del amplificador operacional, obtendremos un circuito amplificador sin inversión como el de la figura 3. Puede verse que la señal de entrada u_i se aplica directamente a la entrada no inversora y que el extremo de la resistencia que no está conectado al amplificador operacional, se conecta directamente a masa.

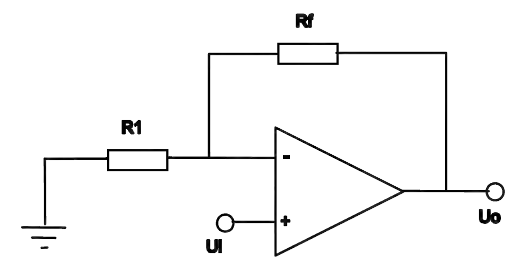


Fig. 3.- Amplificador sin inversión.

En estas condiciones pueden establecerse las siguientes ecuaciones:

$$u_i = R_1\, i_f$$

$$u_o = (R_f + R_1)\, i_f$$

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{R_f + R_1}{R_1}$$

También en este caso la ganancia en bucle cerrado del amplificador operacional está controlada por la relación entre las resistencias R_1 y R_f. Existen dos diferencias importantes respecto al circuito anterior; una es que no se produce inversión, la otra que la impedancia de entrada es mucho mayor puesto que es igual a la impedancia de entrada directa al amplificador operacional.

Si en lugar de utilizar un elemento lineal para realizar la retroalimentación, R_f en la figura 2, se emplea un elemento capacitivo C se obtiene un circuito que puede realizar la operación matemática de integración, figura 4. Resolviendo las ecuaciones se tiene:

$$i_i = \frac{u_i}{R} \quad \text{e} \quad i_f = -C\,\frac{du_o}{dt}$$

$$\frac{u_i}{R} = -C\,\frac{du_o}{dt} \quad ,, \quad u_o = \int_0^t -\frac{u_i}{RC}\,dt = -\frac{1}{RC}\int_0^t u_i\,dt$$

Figura 4.- Circuito integrador

Por tanto, la tensión de salida del circuito integrador es igual a la integral de la tensión de entrada multiplicada por la constante -1/RC.

3.1.- Respuesta en frecuencia

La respuesta de frecuencia de un amplificador operacional es uno de sus aspectos mas importantes. Se entiende por *respuesta de frecuencia* el intervalo de frecuencias en las que la ganancia de tensión del amplificador operacional permanece constante.

La respuesta de frecuencia se describe mejor mediante un *diagrama o gráfica de Bode* como el de la figura 5. La gráfica describe la respuesta de un amplificador operacional con una ganancia de tensión en bucle abierto de 10^5 (o sea, 100 dB) y una ganancia unidad o de cruce para 1 MHz.

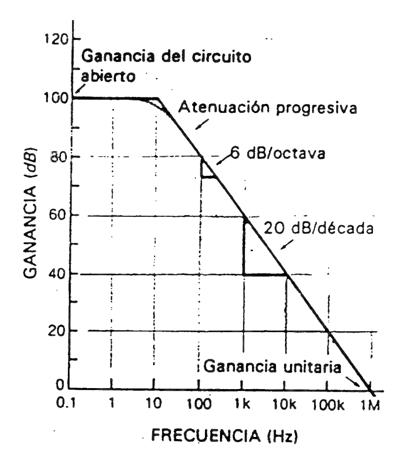


Figura 5.- Diagrama de Bode

Puede observarse que la ganancia de los amplificadores operacionales declina en las frecuencias mas altas con un valor uniforme de 20 dB por década a partir, en el caso de bucle abierto, de 10 Hz aproximadamente.

Es obvio que este ancho de banda es muy pequeño y que debe sacrificarse la ganancia para obtener un intervalo de respuesta de frecuencia mas grande; así en la figura 6, puede verse el esquema de un amplificador con realimentación negativa cuya ganancia ha bajado de 10^5 (en bucle abierto) a 100 (40 dB) y su respuesta de frecuencia que se amplía, a causa de la realimentación, a 10 kHz.

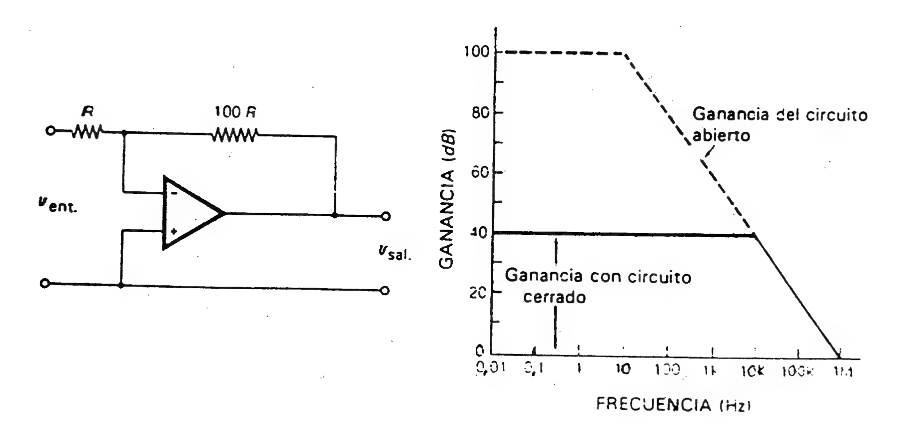


Figura 6.- Diagrama de Bode de un amplificador con realimentaci n negativa

Si la realimentación fuese tan fuerte como para reducir la ganancia a la unidad, el ancho de banda se prolongaría hasta el punto de cruce (0 dB) cuya frecuencia resulta ser 1 MHz. La respuesta en frecuencia o ancho de banda de un amplificador operacional se puede cambiar por medio de la realimentación a los valores deseados, con lo cual se extiende la operación de amplificación a frecuencias mas altas, dependiendo el procedimiento exacto del amplificador específico que se desee proyectar.

4.- REALIZACION PRACTICA

4.1.- Materiales necesarios

Para la realización de esta práctica se van a necesitar los siguientes materiales y aparatos de instrumentación:

- Fuente de alimentación FAC-662B
- Osciloscopio OD-416
- Generador de funciones GF-2050B
- Placa de montaje UPM DIE (fig. 7)
- Amplificadores operacionales µA741
- Componentes discretos (resistencias, condensadores)
- Cables de interconexión

Se pretende estudiar el funcionamiento de cuatro circuitos basados en el amplificador operacional como elemento principal de circuito con operación dentro de la zona lineal. Para ello se seguirá el siguiente procedimiento:

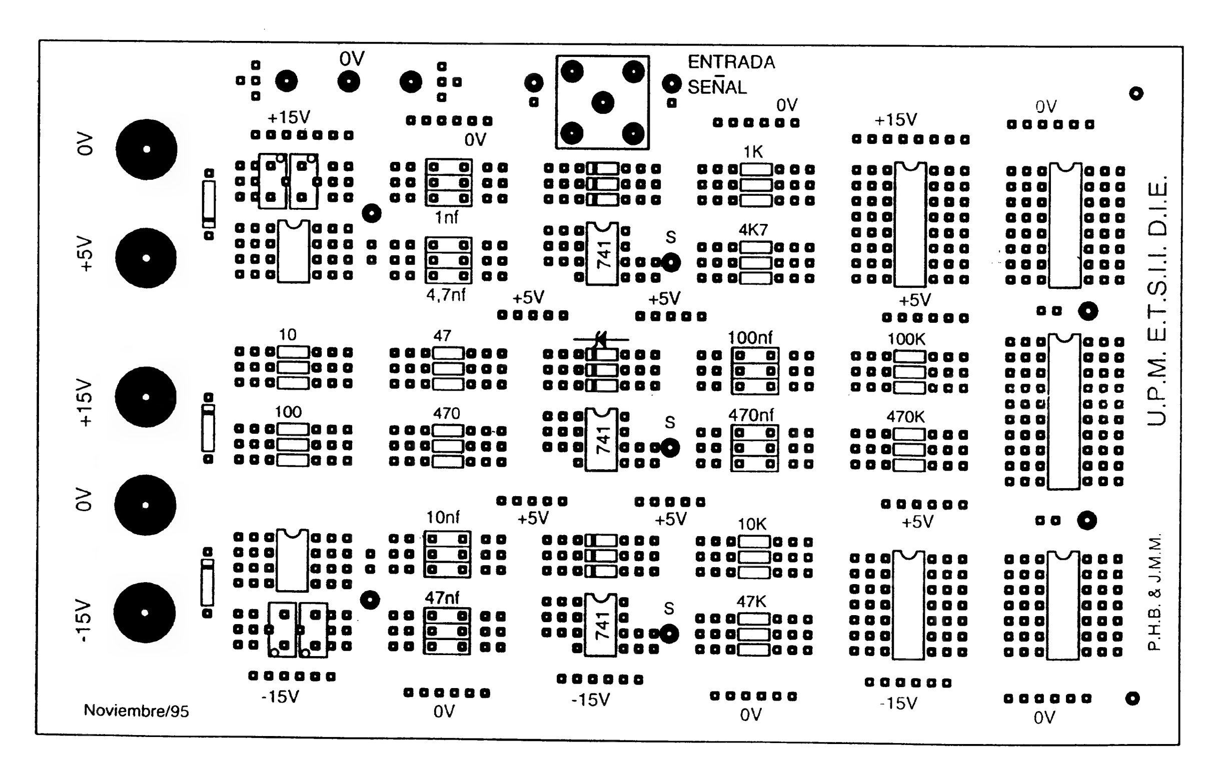


Figura 7.- Placa de montaje

4.2.- Procedimiento

a).- Amplificador inversor

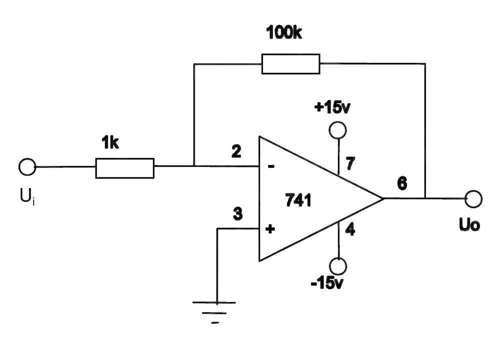


Figura 8.- Circuito amplificador inversor

1.- Realizar el circuito de la figura 8 sobre la placa montaje, utilizando un amplificador operacional µA741 y resistencias R_f = 100 kΩ y R_1 = 1kΩ.

2.- Obtener de la fuente de alimentación FAC-662B las tensiones de polarización necesarias para el funcionamiento del amplificador operacional ± U_{cc}; para ello, seleccionar el modo de operación simétrico (TRACK) y regular la tensión de salida a ± 15V.

3.- Aplicar la salida de la fuente FAC-662B a las bornas +15V, 0V y -15V de la placa de montaje.

4.- Seleccionar onda senoidal en el generador de señal GF-2050B, frecuencia de 500 Hz y amplitud de señal de 50 mVpp . Utilícese el osciloscopio para ajustar la amplitud de señal deseada. **Ajustar a cero el nivel de offset del generador para no introducir ningún nivel de continua al amplificador que pueda ocasionar saturación o dificultad en las medidas**.

5.- Introducir la señal senoidal anterior a la entrada del amplificador inversor y medir con el osciloscopio las tensiones u_i de entrada y u_o de salida; de los valores obtenidos deducir la ganancia de tensión A_u.

6.- Repetir el apartado anterior para los valores de frecuencia indicados en la tabla 1. Anotar los resultados en dicha tabla.

f	u_i	u_o	A_u	dB
500				
2.000				
6.000				
8.000				
9.000				
10.000				
11.000				
12.000				
14.000				

Tabla 1

7.- Con los datos de la tabla 1 dibujar el diagrama de Bode del amplificador inversor y deducir su frecuencia de corte superior y el ancho de banda.

8.- Medir la impedancia de entrada Z_i del amplificador dentro del margen de frecuencias comprendido dentro del ancho de banda; por ejemplo a 500 Hz.

b).- Circuito amplificador no inversor

1.- Realizar el montaje de la figura 9 para obtener un amplificador no inversor, utilizando un amplificador operacional µA741.

2.- Alimentar en continua el circuito de la fig. 9, con ±15V desde la fuente de tensión FAC-662B igual que en el montaje anterior.

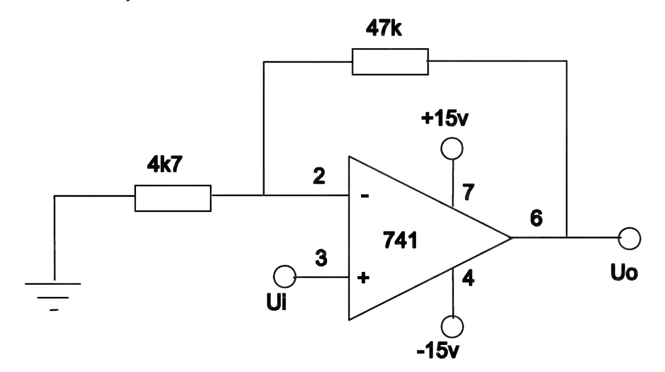


Fig. 9.- Amplificador no inversor

3.- Introducir una señal senoidal de 500Hz y 50mVpp a la entrada del amplificador y observar con el osciloscopio las formas de onda u_i de entrada y u_o de salida; medir sus amplitudes y deducir la ganancia de tensión A_u.

4.- Obtener el diagrama de Bode del amplificador variando la frecuencia de la señal de entrada hasta 200kHz. Deducir la frecuencia de corte superior y ancho de banda.

c).- Amplificadores en cascada

Puede obtenerse una ganancia de tensión igual a la proporcionada por el amplificador inversor (-100) conectando dos amplificadores en cascada como en la figura 10, mejorando al mismo tiempo otras características como son el ancho de banda Δf y la impedancia de entrada Z_i.

La impedancia de entrada pasa a ser de los 1000Ω en el amplificador inversor, a la impedancia de una entrada directa al amplificador operacional realimentado, del orden de varios MΩ. Los amplificadores pueden diseñarse para que la ganancia de cada uno sea igual a 10 de modo que la ganancia total del conjunto A_{ut} sea igual a -100, con lo que el ancho de banda de cada uno se

eleva hasta los 100kHz. Para estudiar las características de este circuito realizar el montaje indicado en la figura 10 y seguir los siguientes pasos:

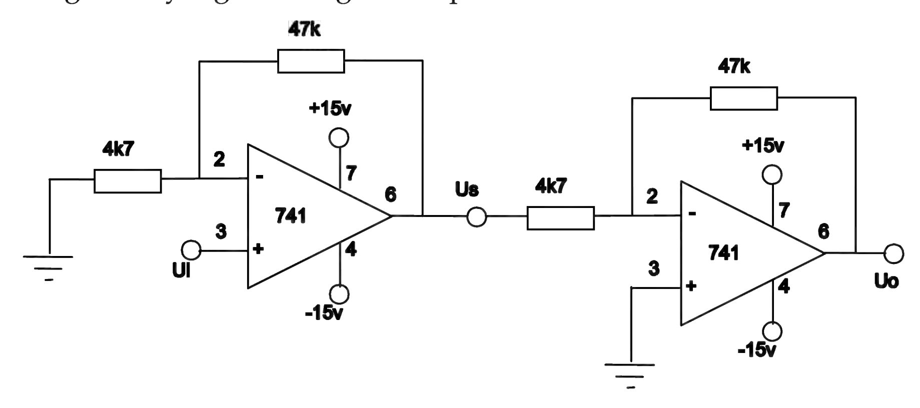


Fig. 10.- Amplificadores en cascada

1.- Alimentar el circuito con ±15V desde la fuente de alimentación FAC-662B en las bornas correspondientes de la placa de montaje.

2.- Introducir una señal senoidal de 500Hz y 50mVpp en la entrada del amplificador y medir con el osciloscopio las tensiones de entrada u_i, de salida del primer amplificador u_s y de salida u_o. Deducir la ganancia de cada etapa y la ganancia total A_{ut} del amplificador.

3.- Obtener el diagrama de Bode del circuito variando la frecuencia de la señal de entrada hasta 200kHz. Deducir la frecuencia de corte y ancho de banda. Comparar con los dos montajes anteriores.

d).- Circuito integrador

1.- Realizar el montaje de la figura 11 para obtener un circuito integrador. Los valores de la resistencia R y el condensador C serán: R = 10kΩ, C = 100nF. Colocar una resistencia de 100kΩ en paralelo con el condensador para evitar la saturación del amplificador operacional.

2.- Igual que en el circuito anterior alimentar en continua el circuito integrador con la fuente FAC-662B a ± 15V e introducir, desde el generador de funciones, una señal senoidal de 500 Hz de frecuencia y 1Vpp de amplitud en la entrada del integrador. **Ajustar a cero el nivel de offset del generador de señal**.

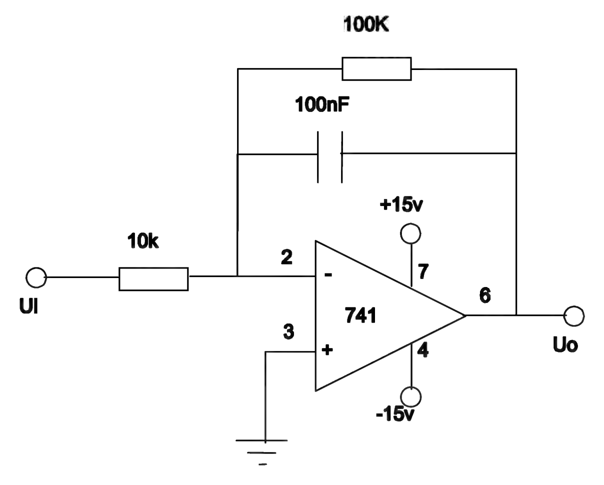


Figura 11.- Circuito integrador

3.- Observar en el osciloscopio y dibujar las señales u_i de entrada y u_o de salida; medir el desfase existente entre ambas y deducir si se realiza la función de integración.

4.- Seleccionar onda cuadrada en el generador de funciones, y con la misma frecuencia y amplitud de señal repetir las medidas del apartado anterior.

5.- Desconectar los aparatos, recoger la mesa de trabajo y entregar la memoria de la práctica.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
E.T.S.I. INDUSTRIALES





PRÁCTICAS DE LABORATORIO

División de Ingeniería Electrónica



AMPLIFICADORES OPERACIONALES II
Aplicaciones no lineales

Curso 2000/2001

AMPLIFICADORES OPERACIONALES
Aplicaciones no lineales

1.- APLICACIONES NO LINEALES DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

En muchas aplicaciones los amplificadores operacionales trabajan en condiciones no lineales, o bien, aún trabajando en zona lineal el circuito resultante presenta características no lineales; en esta práctica se van a estudiar cuatro de estas aplicaciones. Las dos primeras están centradas en la obtención de convertidores de precisión alterna-contínua, tales como un rectificador rápido de media onda y un rectificador de onda completa capaces de manejar señales de alterna con un valor máximo de amplitud inferior a la tensión umbral $u\gamma$ propia de un diodo rectificador. Las dos últimas utilizan el amplificador operacional como comparador para realizar un comparador con histéresis y un multivibrador astable.

2.- CONVERTIDORES DE PRECISION ALTERNA-CONTINUA

2.1.- Rectificador de media onda

Los diodos semiconductores son componentes electrónicos que presentan unas características casi ideales para la mayoría de las aplicaciones. Sin embargo, cuando se manejan señales cuya amplitud es menor que la tensión de codo del diodo (≈0,6V), la tensión de salida del rectificador será nula; por otra parte, para señales de pequeña amplitud la alinealidad de su resistencia interna directa r_d, la dependencia de sus características con la temperatura y la misma tensión de codo pueden provocar errores importantes en la señal obtenida a la salida.

Estos inconvenientes pueden minimizarse colocando dos diodos a la salida de un amplificador operacional tal como se indica en la figura 1; este circuito se comporta como un diodo ideal ya que la tensión de codo del diodo D_2 queda dividida por la ganacia en bucle abierto A_{ud} del amplificador resultando ser del orden de 6μV, lo cual permite a este circuito manejar señales de unos pocos mV en su entrada.

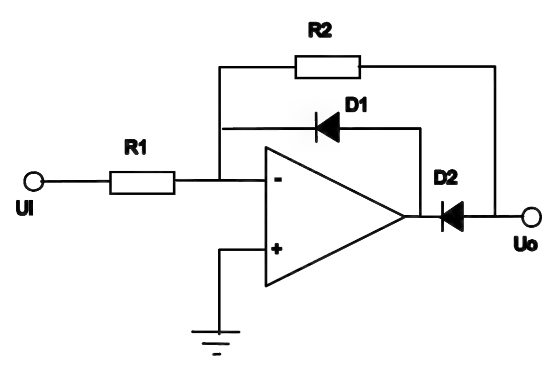


Fig. 1.- Rectificador de media onda de precisión.

Por otra parte, puesto que los diodos se encuentran dentro de los lazos de realimentación del amplificador operacional, tanto la alinealidad de la resistencia interna como la dependencia de sus características con la temperatura quedan divididas por la ganancia del lazo de realimentación βA_{ud}.

El circuito de la figura 1 funciona de la siguiente forma: si u_i es positiva, la tensión en la salida del amplificador operacional será negativa (inversor) con lo que D_1 no conducirá y D_2 lo hará cuando se alcance el valor de su tensión de codo, lo cual sucederá cuando la tensión de entrada

sea aproximadamente igual a 6µV. En estas condiciones el circuito se comporta como un amplificador inversor, de modo que $u_o = -(R_2/R_1)u_i$, cuya curva de transferencia se representa en la figura 2 con una recta de pendiente $-R_2/R_1$. Si u_i es negativa, D_2 estará al corte y D_1 conducirá. Debido a la realimentación de D_1 existirá una tierra virtual en la entrada no inversora y por tanto $u_o = 0$, además la presencia de este diodo evita que el amplificador se sature cuando D_2 no conduce mejorando el tiempo de respuesta del circuito.

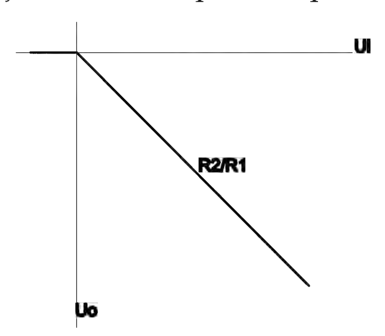


Fig. 2.- Curva de transferencia.

La principal limitación de este circuito es la tasa de variación del amplificador operacional. Cuando la entrada de señal pasa por 0, la salida del amplificador operacional debe cambiar lo más rápidamente posible desde +0,6V hasta -0,6V, o viceversa, a fin de que la conducción pase de un diodo a otro muy velozmente. Si la tasa de variación fuese de 1V/µseg, el tiempo de conmutación sería de 1,2µseg y este tiempo debe ser una pequeña fracción del período T de la onda senoidal, lo cual se cumple a baja frecuencia pero deja de ser cierto a alta frecuencia. Si se desea suprimir el semiciclo positivo no hay más que cambiar el sentido de los diodos D_1 y D_2.

2.2.- Rectificador de onda completa

El circuito representado en la figura 3 proporciona una rectificación de onda completa sin inversión de una señal senoidal. El amplificador A_1 suprime el semiciclo negativo e invierte el positivo, mientras que el amplificador A_2 suma a la señal de entrada el doble de la señal de salida de A_1 e invierte el resultado, obteniéndose una señal de salida u_o que es la rectificación de onda completa de la señal de entrada u_i.

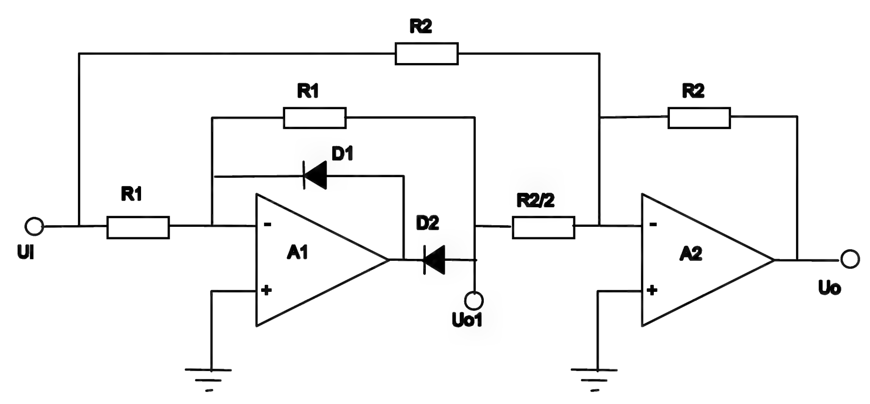


Fig. 3.- Rectificador de onda completa de precisión.

En efecto, para el semiciclo positivo se tiene:

$$u_o = -(u_i + 2u_{o1}) = -(u_i - 2u_i) = u_i$$

y para el semiciclo negativo:

$$u_o = -(u_i + 2u_{o1}) = -(u_i + 0) = - u_i$$

es decir, que a la salida se obtiene el semiciclo positivo sin ninguna modificación y el negativo invertido con lo cual se realiza la rectificación de doble onda incluso para valores de tensión de entrada menores que la tensión de codo u_γ.

3.- COMPARADORES

Consideremos el caso en que no existe realimentación negativa; es decir, con el amplificador operacional trabajando en bucle abierto. En estas condiciones, una pequeña diferencia de potencial entre las entradas inversora y no inversora, se vería amplificada por la ganancia en bucle abierto (10^5) del amplificador operacional y la tensión de salida tendería a ser muy elevada, de valor inalcanzable teniendo en cuenta los valores de las tensiones de polarización (± 15V); de modo que el funcionamiento del amplificador operacional se sale de la zona lineal y entra en saturación ofreciendo a su salida una tensión próxima a las de polarización.

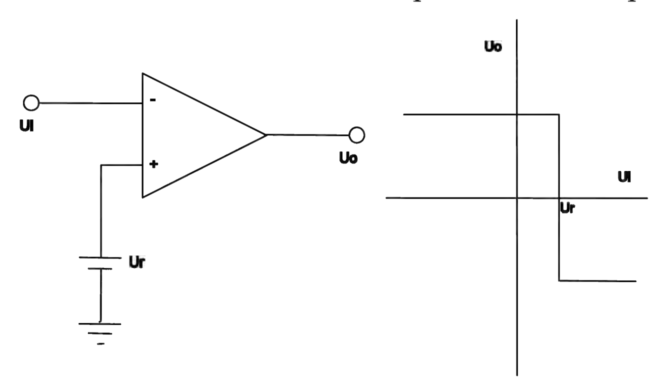


Figura 4.- Circuito comparador y curva de transferencia

Este modo de operación es el que se utiliza en los circuitos comparadores como el de la figura 4, cuya misión consiste en comparar la señal de entrada u_i con una tensión de referencia U_R, ofreciendo en su salida el nivel de saturación negativa U_{sat}^- si $u_i > U_R$; y el nivel contrario U_{sat}^+ en caso de que $u_i < U_R$, tal como se ve en la curva de transferencia del circuito comparador de la figura 4.

En el supuesto en que la tensión de referencia fuese nula, $U_R = 0$, la salida del circuito percibiría los pasos por cero de la tensión de entrada u_i; este circuito se denomina *detector de cruce* debido a que la salida cambia cada vez que la entrada pasa por cero.

Los circuitos anteriores presentan un serio inconveniente cuando la señal a comparar u_i tiene un paso lento por el nivel de comparación, caso de una onda triangular por ejemplo. La inevitable presencia de ruido hará que la señal de entrada al comparador u_i, ofrezca no solo un cruce por la señal de referencia, U_R, sino varios cruces muy próximos; esto se traduce a la salida en que no se producirá un solo cambio de nivel, que sería lo deseado, sino varios cambios de nivel próximos al punto de cruce, que podría dar lugar a error si esta señal de salida alimentase, por ejemplo, a un contador.

Para evitar este inconveniente se recurre a realimentar positivamente al amplificador operacional, figura 5. De la curva de transferencia del circuito se deduce que el sistema presenta una cierta "histéresis" y siempre que el nivel de ruido presente en la entrada quede comprendido dentro de la tensión de histéresis, no aparecerán cambios falsos de nivel en la salida.

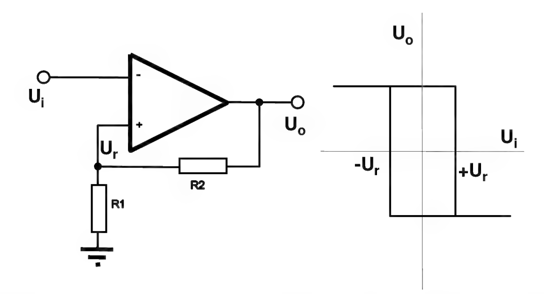


Figura 5.- Comparador con histéresis y curva de transferencia

En este circuito son dos los niveles de referencia U_R^+ y U_R^-; los valores de estos niveles son:

$$U_R^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{sat}^+$$

$$U_R^- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{sat}^-$$

y la tensión de histéresis resulta ser:

$$U_H = U_R^+ - U_R^- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} (U_{sat}^+ - U_{sat}^-)$$

Este circuito comparador con histéresis es muy utilizado y resulta ser el circuito base para un grupo de circuitos llamados multivibradores.

4.- MULTIVIBRADORES

Son circuitos que consisten básicamente en un comparador con histéresis al que se añaden algunos componentes para que el circuito realice su función específica. Existen tres tipos de multivibradores: astable, monoestable y biestable. A continuación se estudia el multivibrador astable.

El esquema del multivibrador astable se representa en la figura 6. Al circuito comparador con histéresis se le han añadido dos componentes, una resistencia R de realimentación negativa y un condensador C a masa desde la entrada inversora. El circuito funciona con solo aplicar las tensiones de alimentación ± U_{cc} proporcionando en su salida una onda cuadrada.

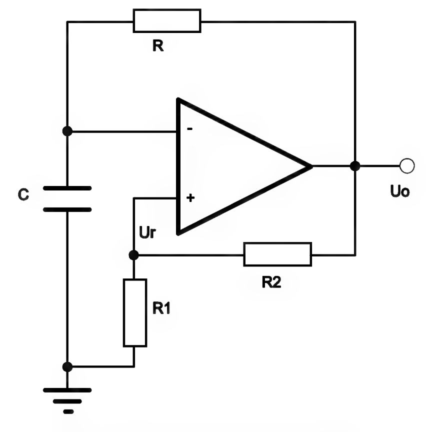


Figura 6.- Multivibrador astable

El principio de operación es el siguiente: supongamos que C está cargado a U_R^- y que el amplificador operacional está saturado ofreciendo en su salida la tensión U_{sat}^+; la tensión de referencia presente en la entrada no inversora será U_R^+. En estas condiciones el condensador

tiende a cargarse hacia la tensión U_{sat}^+ a través de R con una constante de tiempo τ = RC, pero cuando alcanza el valor de U_R^+ el amplificador operacional cambia su nivel de saturación pasando la tensión de salida a U_{sat}^-, y la tensión de referencia pasa a ser U_R^-.

El condensador tiende a cargarse ahora hacia la tensión U_{sat}^- desde el valor U_R^+. Al alcanzar el valor de la nueva tensión de referencia, U_R^-, el amplificador cambia de nuevo al nivel de saturación U_{sat}^+ y el condensador volverá a cargarse hacia la tensión U_{sat}^+ restableciéndose las condiciones iniciales supuestas.

Si se cumple que los valores de las tensiones de saturación y de referencia son iguales en módulo es decir:

$$|U_{sat}^+| = |U_{sat}^-| \quad ,, \quad |U_R^+| = |U_R^-|$$

el valor del período de la onda cuadrada obtenida a la salida será:

$$T = 2RC \ln (1 + 2 R_1/R_2)$$

5.- REALIZACION PRACTICA

5.1.- Materiales necesarios

Para la realización de esta práctica se van a necesitar los siguientes materiales y aparatos de instrumentación:

- Fuente de alimentación FAC-662B
- Osciloscopio OD-416
- Generador de funciones GF-2050B
- Placa de montaje UPM DIE
- Amplificadores operacionales µA741
- Diodos de unión
- Componentes discretos (resistencias, condensadores)
- Cables de interconexión

5.2.- Procedimiento

a).- Diodo de precisión

1.- Realizar el circuito de la figura 7 sobre la placa UPM DIE, utilizando un amplificador operacional µA741, dos diodos semiconductores y dos resistencias de 10KΩ.

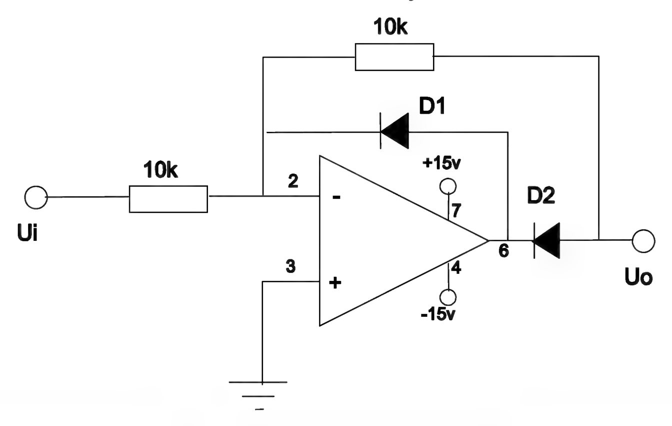


Fig. 7.- Circuito diodo de precisión.

2.- Obtener de la fuente de alimentación FAC-662B las tensiones de polarización necesarias para el funcionamiento del amplificador operacional; para ello seleccionar el modo de operación simétrico (TRACK) regulando la tensión de salida a ± 15V.

3.- Aplicar la tensión de salida de la fuente a las bornas de alimentación de la placa de montaje.

4.- Seleccionar onda senoidal en el generador de señal GF-2050B, con frecuencia de 50 Hz y amplitud de señal de 100mV de pico. Utilizar el osciloscopio para ajustar la amplitud de la señal. **Ajustar a 0 el nivel de offset del generador para no introducir ningún nivel de contínua que pueda ocasionar saturación del amplificador o errores en las medidas**.

5.- Utilizando un diodo de unión y una resistencia de 1KΩ, montar el circuito rectificador de media onda de la figura 8 para poder comparar con el diodo de precisión de la figura 7.

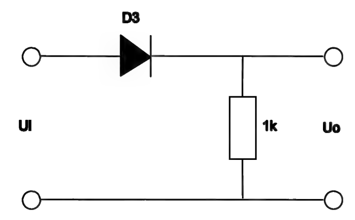


Fig. 8.- Rectificador de media onda usual.

6.- Introducir la señal senoidal seleccionada en el generador al circuito rectificador de la figura 8, comprobando con el osciloscopio que la señal de salida es nula.

7.- Introducir la señal senoidal en la entrada del diodo de precisión de la figura 7. Observar y medir con el osciloscopio las señales u_i (canal CH1) y u_o (canal CH2). Comprobar que se produce rectificación de media onda a pesar del bajo nivel de la señal de entrada.

8.- Manteniendo las señales u_i y u_o en los canales CH1 y CH2 del osciloscopio realizar los ajustes necesarios en los controles del mismo para obtener una representación X-Y de la función de transferencia del diodo de precisión.

b).- **Rectificador de doble onda**

1.- Realizar el circuito de la figura 9 para obtener un rectificador de doble onda de precisión a partir de un diodo de precisión.

2.- Igual que en el circuito anterior alimentar en contínua el amplificador operacional e introducir desde el generador de funciones una señal senoidal de 50Hz y 100mV de pico a la entrada del rectificador. Ajustar a 0 el nivel de offset del generador.

3.- Observar y dibujar en el osciloscopio las tensiones u_i de entrada, u_{o1} de salida del primer amplificador operacional y uo de salida del rectificador de precisión. Notar que la señal de salida u_{o1} es la misma que se obtuvo para el diodo de precisión del apartado a), y que la señal de salida u_o es la rectificación de doble onda de la señal de entrada u_i pese al pequeño valor de su amplitud.

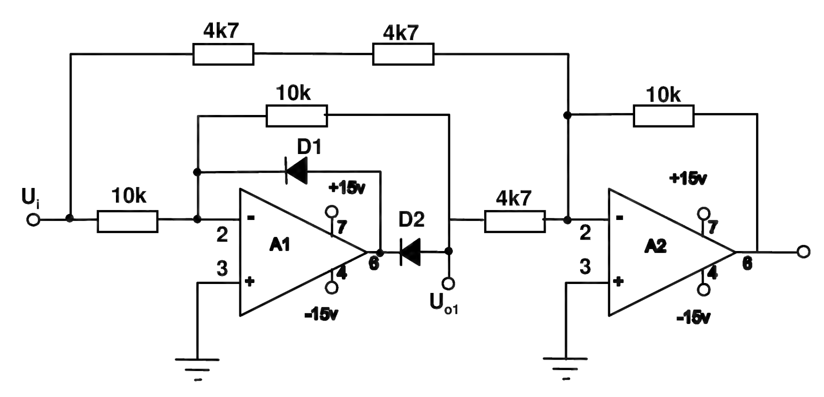


Fig. 9.- Rectificador de doble onda de precisión.

4.- Aumentar la frecuencia de la señal de entrada hasta que se haga presente en la señal de salida el efecto del tiempo de conmutación en la conducción de los diodos, anotar el valor de esta frecuencia.

c).- **Comparador con histéresis**

1.- Conectar el circuito comparador con histéresis de la figura 10, con R1 = 1kΩ y R2 = 2kΩ.

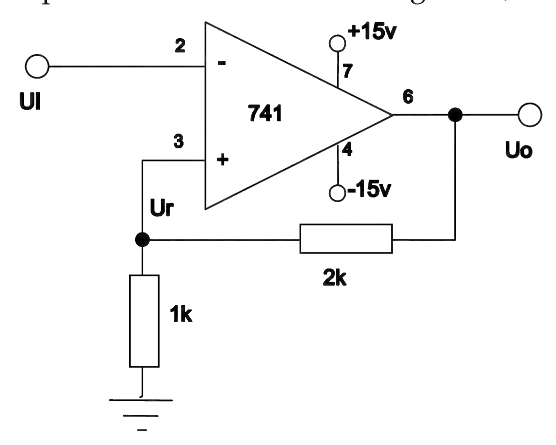


Figura 10.- Circuito comparador con "histéresis"

2.- Deducir el valor aproximado de las tensiones de referencia U_{R+} y U_{R-} suponiendo que las tensiónes de saturación son +15V y -15V.

3.- Seleccionar onda senoidal en el generador de funciones, con 500 Hz de frecuencia y 15Vpp de amplitud de señal. Ajustar a cero el valor de la tensión de offset del generador de señal.

4.- Introducir esta señal en la entrada del comparador y observar en el osciloscopio las tensiones u_i de entrada y u_o de salida utilizando los dos canales verticales.

5.- Dibujar ambas señales en la memoria de la práctica y medir los valores de las tensiones de referencia.

6.- Utilizar la opción X-Y del osciloscopio para ver en su pantalla la función de transferencia u_o = f(u_i) del comparador con histéresis.

d).- **Multivibrador astable**

1.- Desconectar el generador de señal de la entrada del circuito y montar el circuito multivibrador astable indicado en la figura 11 partiendo del montaje anterior del comparador con histéresis, sin mas que añadir la resistencia de realimentación R = 15kΩ y el condensador C = 100 nF.

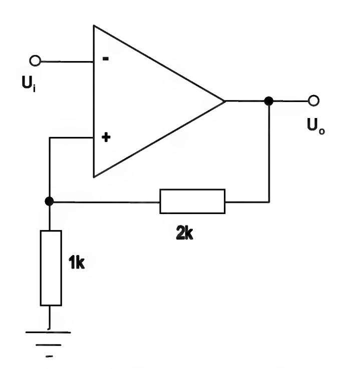


Fig. 11.- Multivibrador astable.

2.- Deducir el valor teórico del periodo T de la onda cuadrada que se obtiene a la salida.

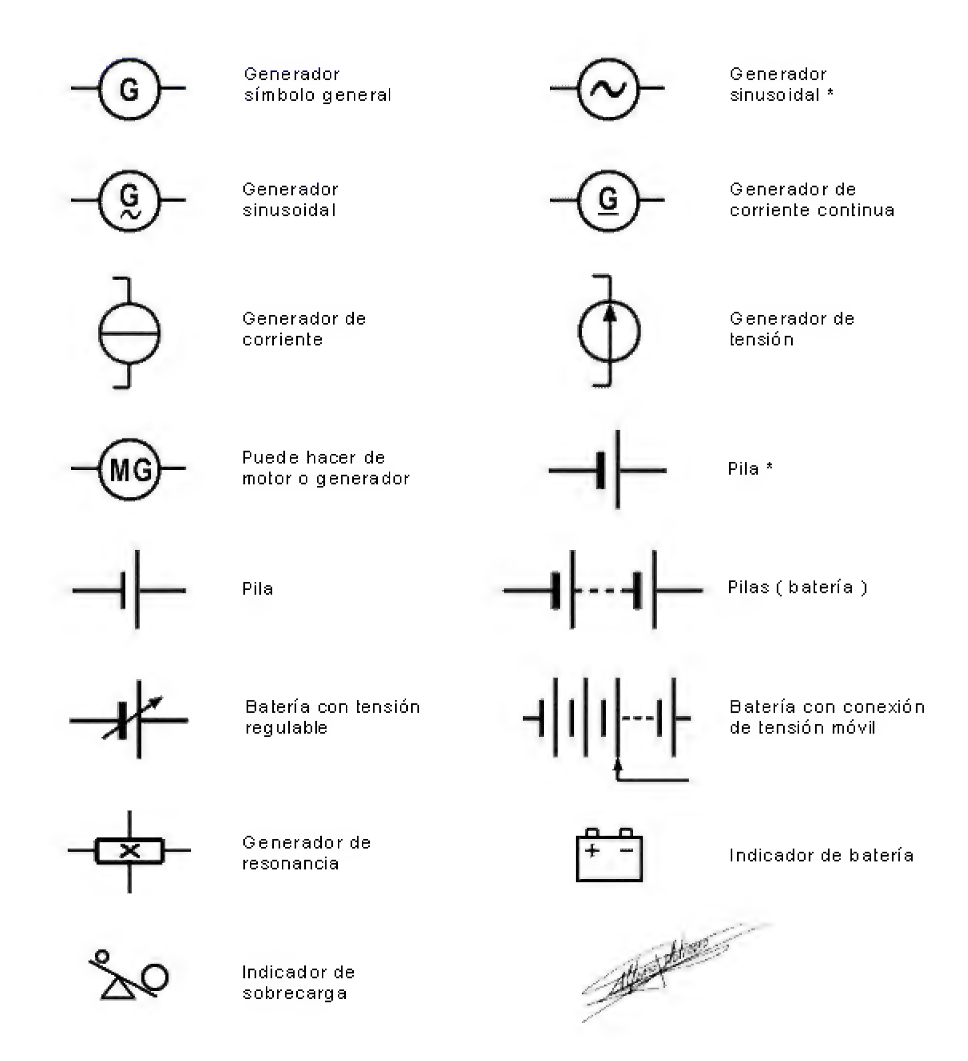
3.- Observar en el osciloscopio y dibujar la forma de onda de la tensión de salida u_o. Medir el valor de la amplitud y del periodo T.

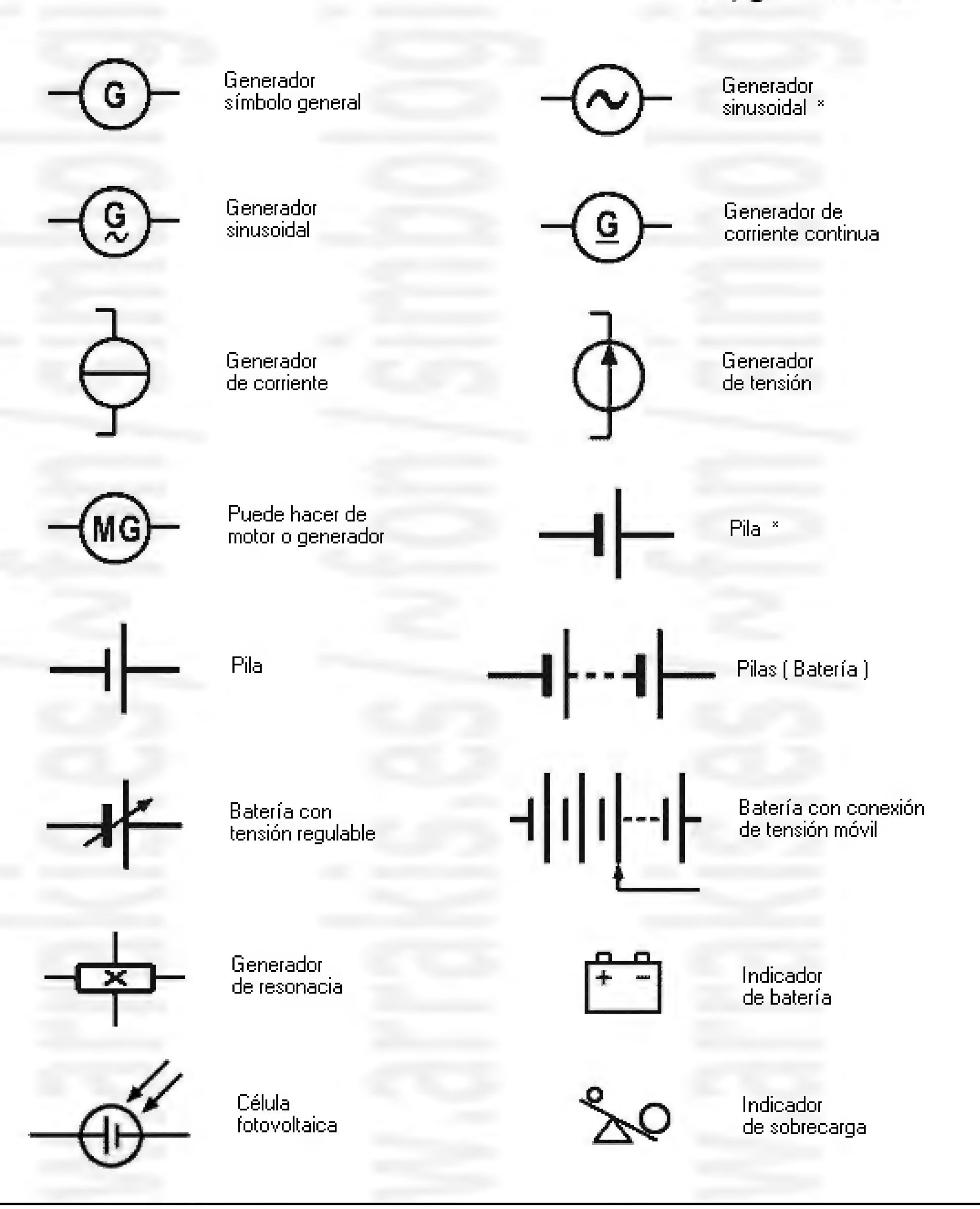
4.- Observar y dibujar la forma de onda en extremos del condensador C así como la forma de onda de la tensión de referencia en la entrada no inversora del comparador.

5.- Desconectar los aparatos, recoger la mesa de trabajo y entregar la memoria de la práctica.

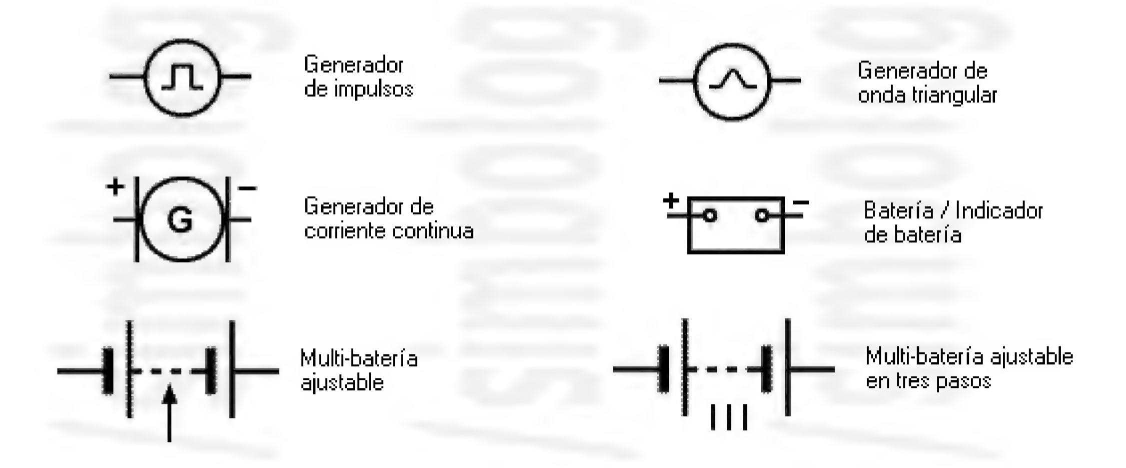
SIMBOLOGÍA ELECTRÓNICA

ALIMENTACIÓN

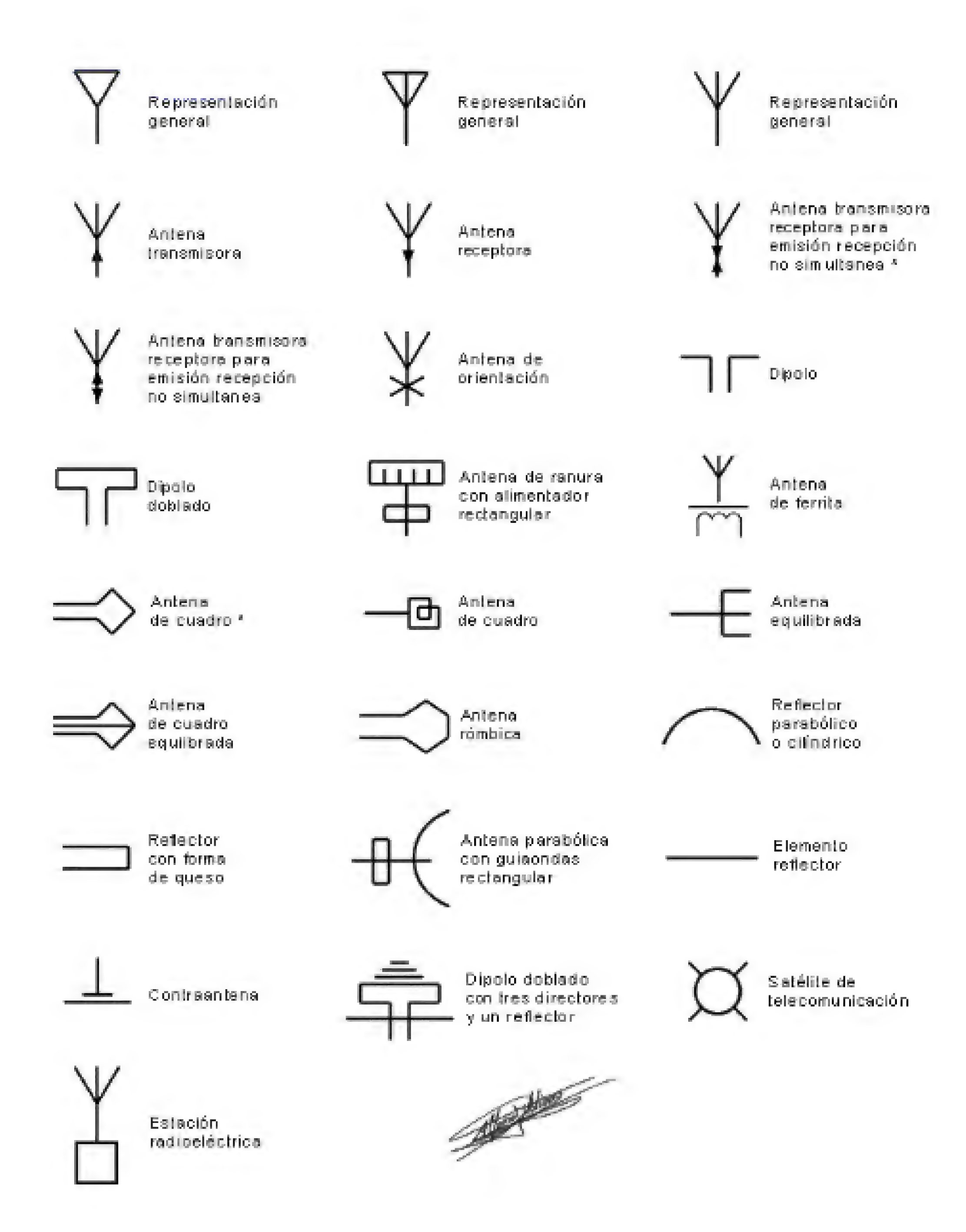


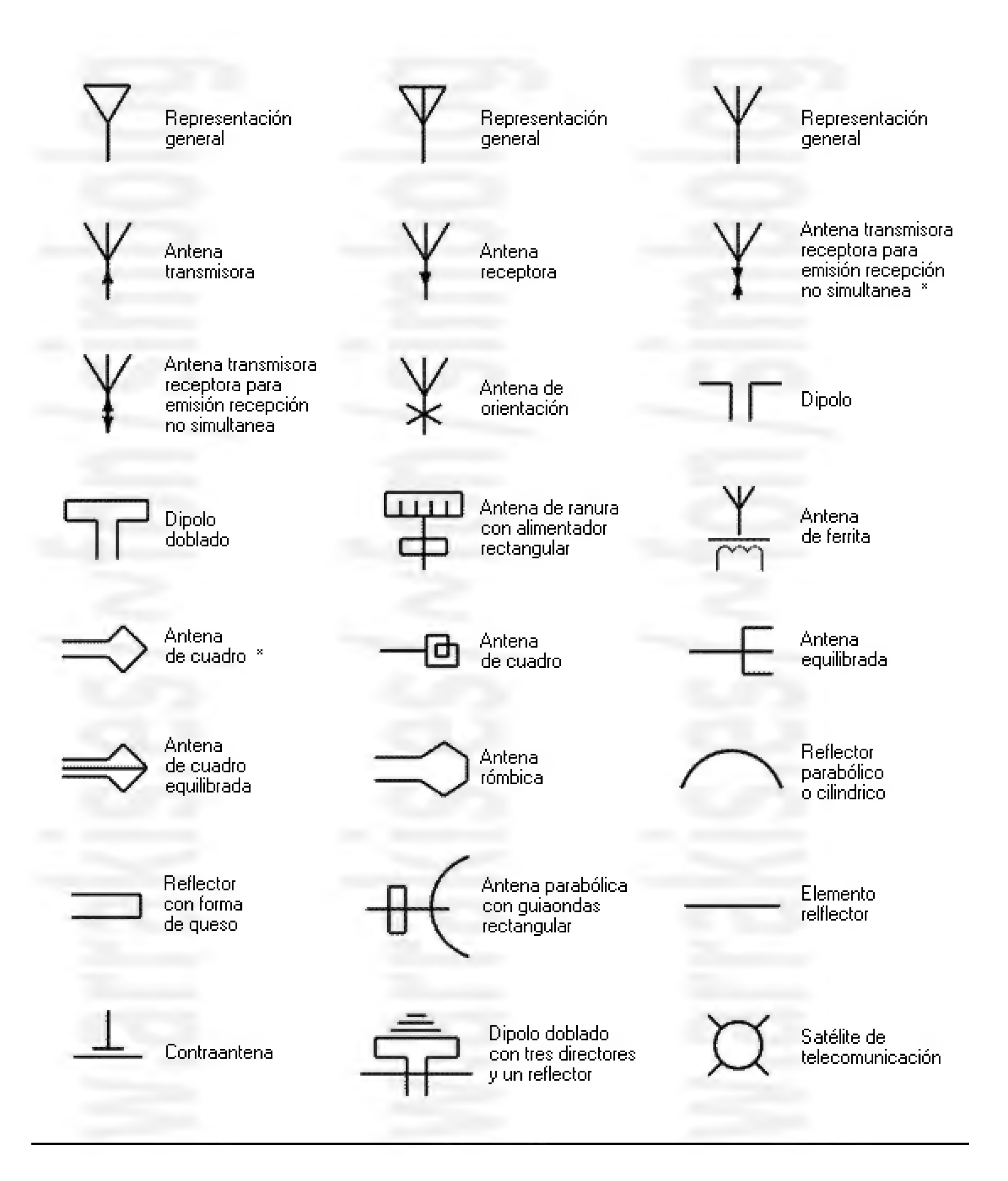


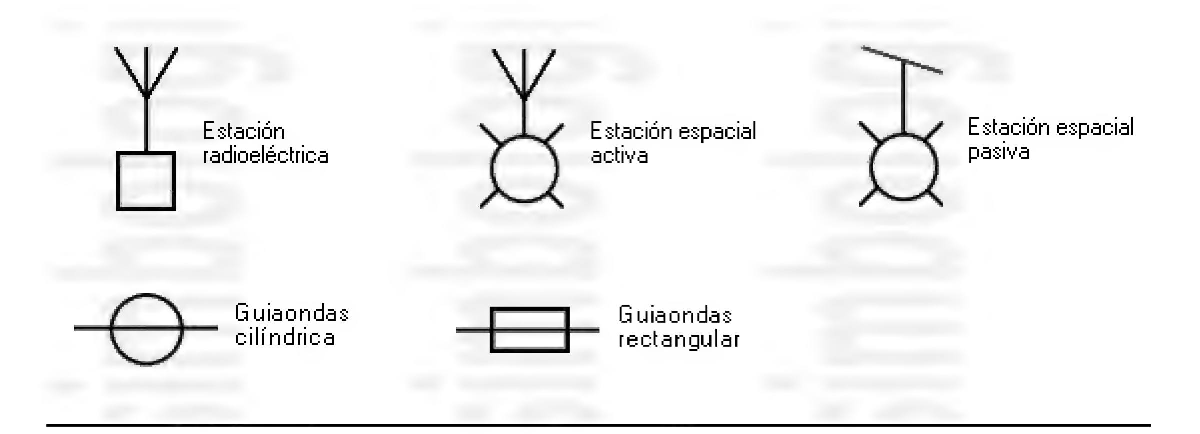
Pilas, generadores ... 1
G
Generador
símbolo general
Generador
sinusoidal *
G
Generador
sinusoidal
G
Generador de
corriente continua
Generador
de corriente
Generador
de tensión
MG
Puede hacer de
motor o generador
Pila *
Pila
Pilas (Batería)
Batería con
tensión regulable
Batería con conexión
de tensión móvil
Generador
de resonacia
+
-
Indicador
de batería
Célula
fotovoltaica
Indicador
de sobrecarga


Generador
de impulsos
Generador de
onda triangular
G
Generador de
corriente continua
Batería / Indicador
de batería
Multi-batería
ajustable
Multi-batería ajustable
en tres pasos

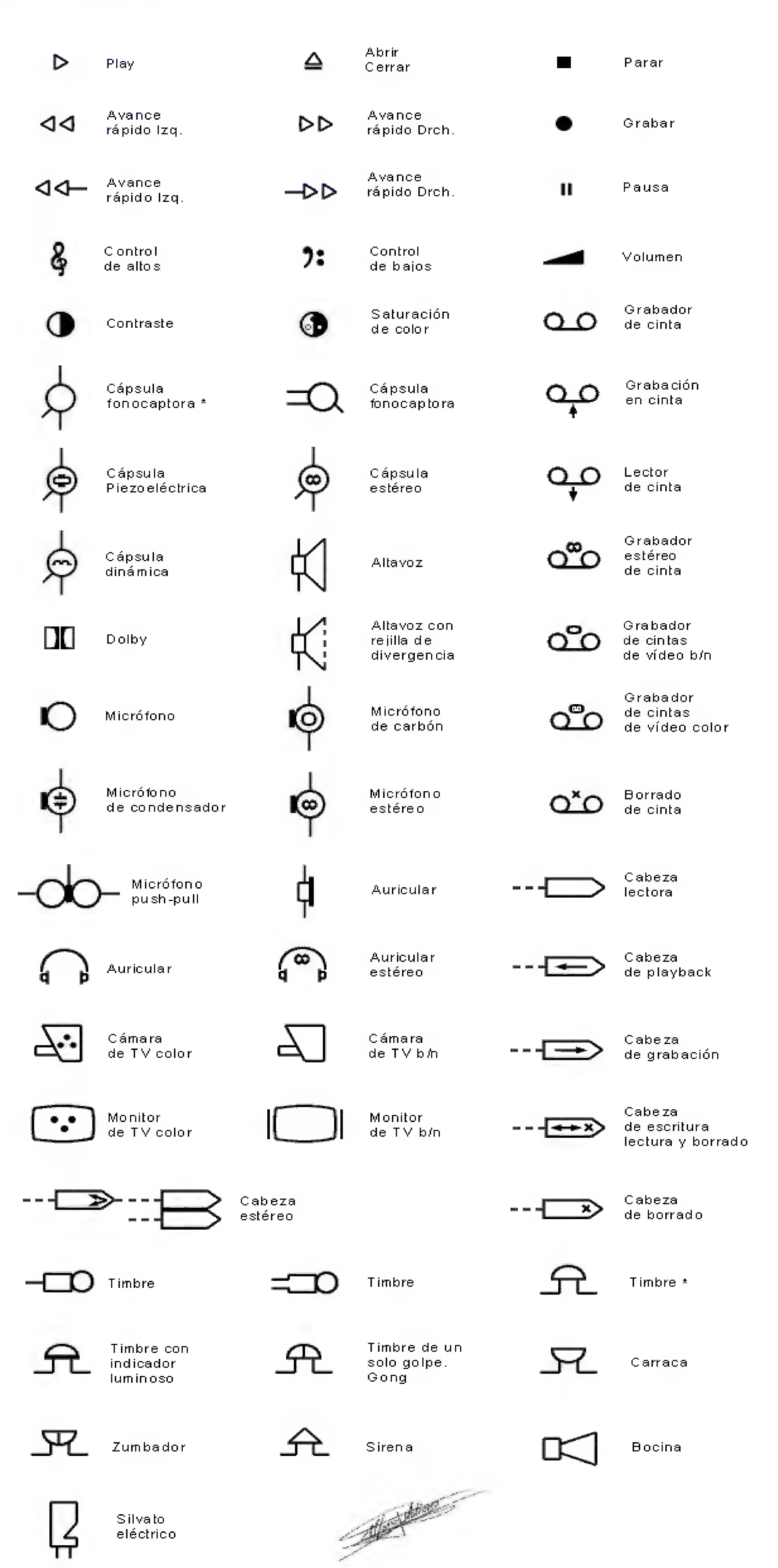
ANTENAS


Representación general
Representación general
Representación general
Antena transmisora
Antena receptora
Antena transmisora receptora para emisión recepción no simultanea *
Antena transmisora receptora para emisión recepción no simultanea
Antena de orientación
Dipolo
Dipolo doblado
Antena de ranura con alimentador rectangular
Antena de ferrita
Antena de cuadro *
Antena de cuadro
Antena equilibrada
Antena de cuadro equilibrada
Antena rómbica
Reflector parabólico o cilíndrico
Reflector con forma de queso
Antena parabólica con guiaondas rectangular
Elemento reflector
Contraantena
Dipolo doblado con tres directores y un reflector
Satélite de telecomunicación
Estación radioeléctrica


Representación general
Representación general
Representación general
Antena transmisora
Antena receptora
Antena transmisora receptora para emisión recepción no simultanea *
Antena transmisora receptora para emisión recepción no simultanea
Antena de orientación
Dipolo
Dipolo doblado
Antena de ranura con alimentador rectangular
Antena de ferrita
Antena de cuadro *
Antena de cuadro
Antena equilibrada
Antena de cuadro equilibrada
Antena rómbica
Reflector parabólico o cilindrico
Reflector con forma de queso
Antena parabólica con guiaondas rectangular
Elemento relflector
Contraantena
Dipolo doblado con tres directores y un reflector
Satélite de telecomunicación


Estación
radioeléctrica
Estación espacial
activa
Estación espacial
pasiva
Guiaondas
cilíndrica
Guiaondas
rectangular

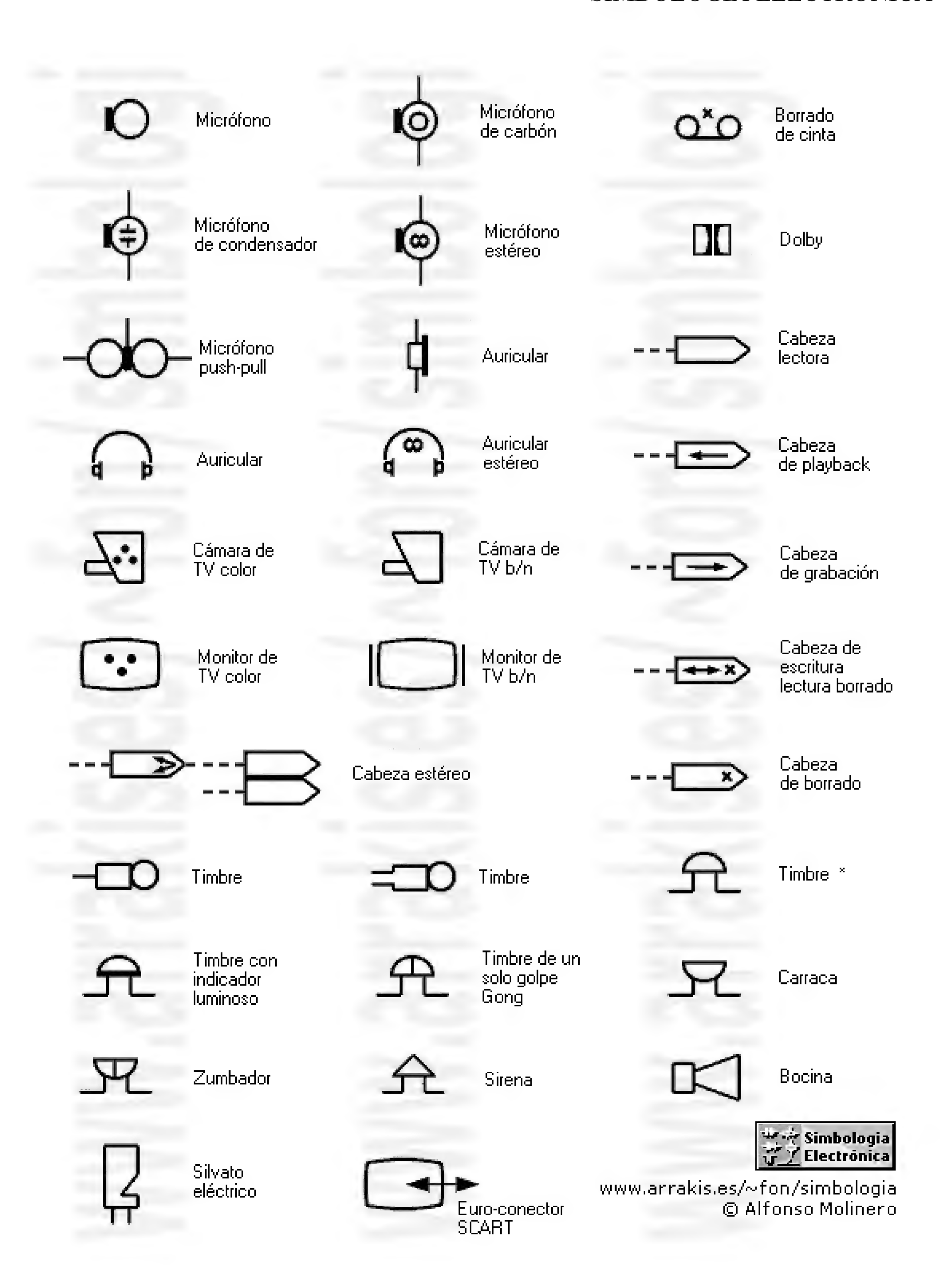
AUDIO Y VÍDEO



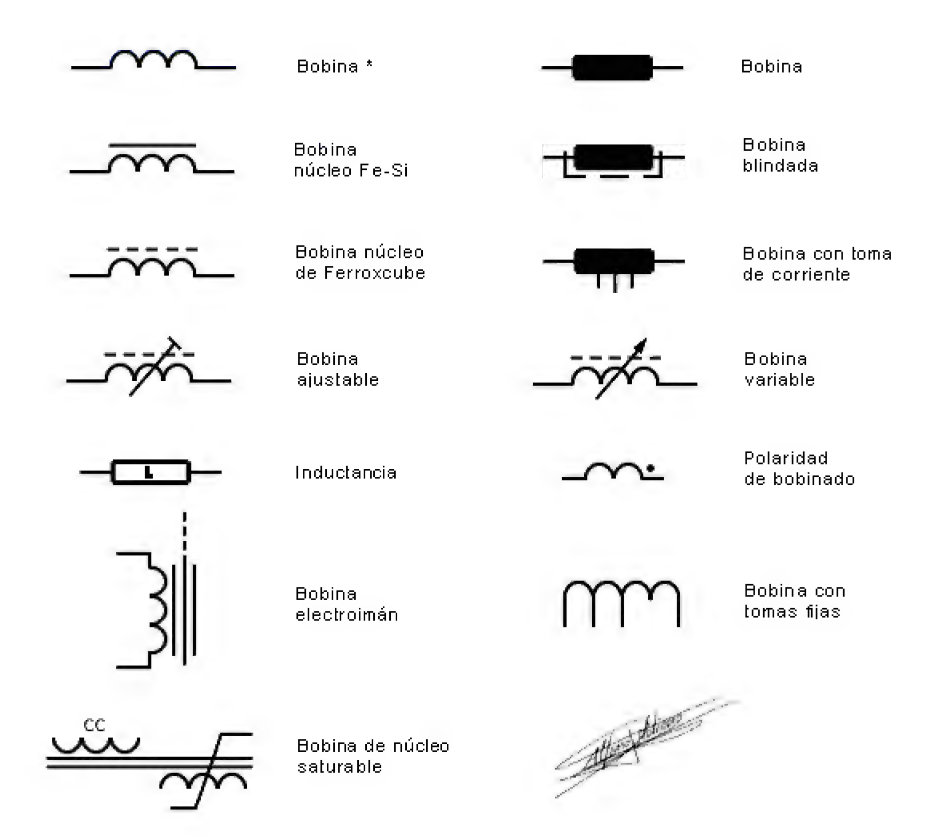
Play	Abrir / Cerrar	Parada / Stop
Avanze rápido Izq.	Avanze rápido Drch.	Grabación
Avanze rápido Izq.	Avanze rápido Drch.	Pausa
Control de altos	Control de bajos	Control de volumen
Control de contraste	Control de saturación de color	Grabador de cinta
Cápsula fonocaptora *	Capsula fonocaptora	Grabación de cinta
Cápsula piezoeléctrica	Cápsula estéreo	Lector de cinta
Cabeza magnética	Cápsula dinámica	Grabador estéreo de cinta
Cabeza de lectura y escritura	Altavoz	Grabador de cintas de vídeo b/n
Cabeza de lectura	Altavoz con rejilla de divergencia	Grabador de cintas de vídeo color
Cabeza de borrado	Piezo altavoz	

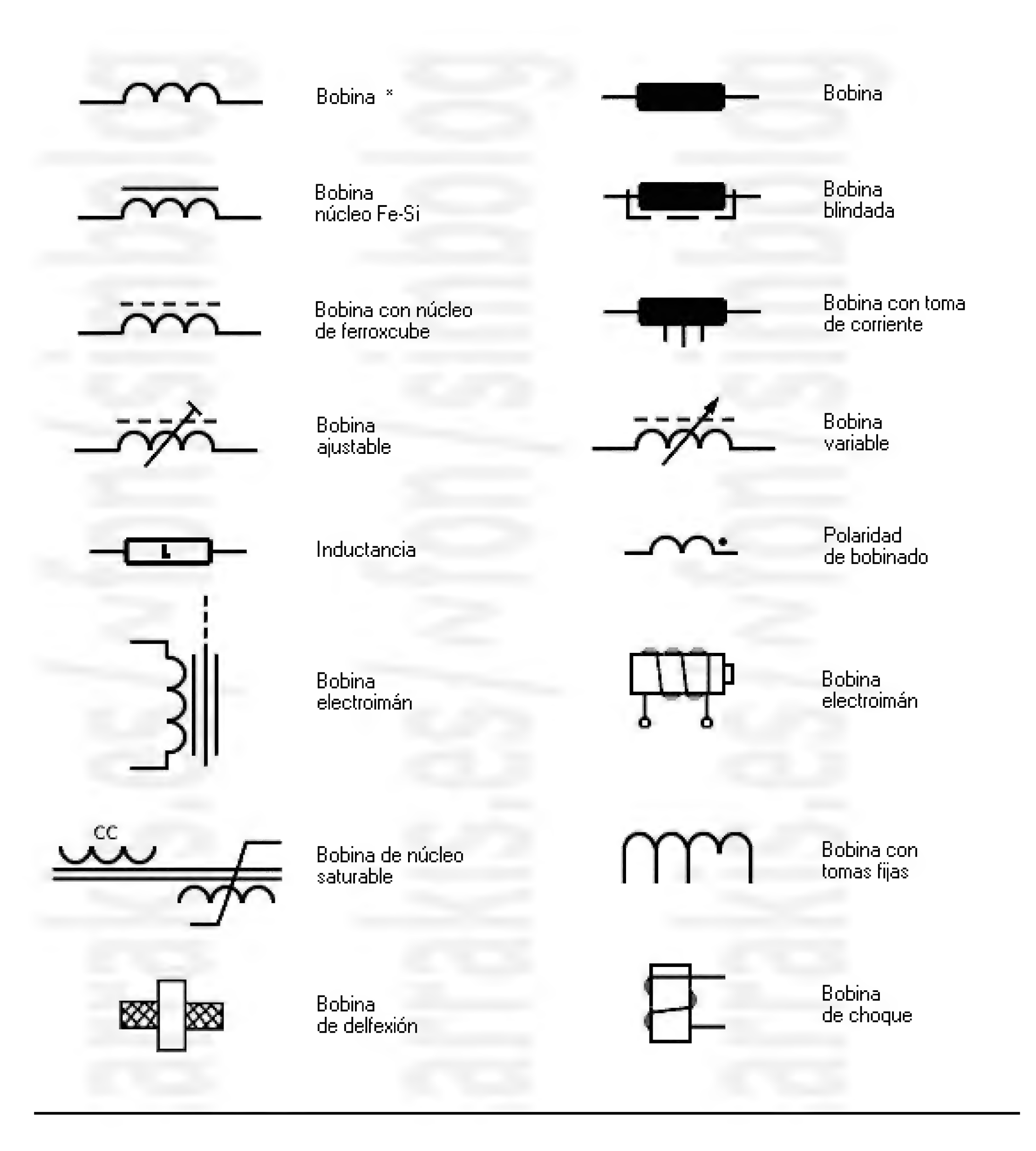
Simbologia Electrónica

www.arrakis.es/~fon/simbologia

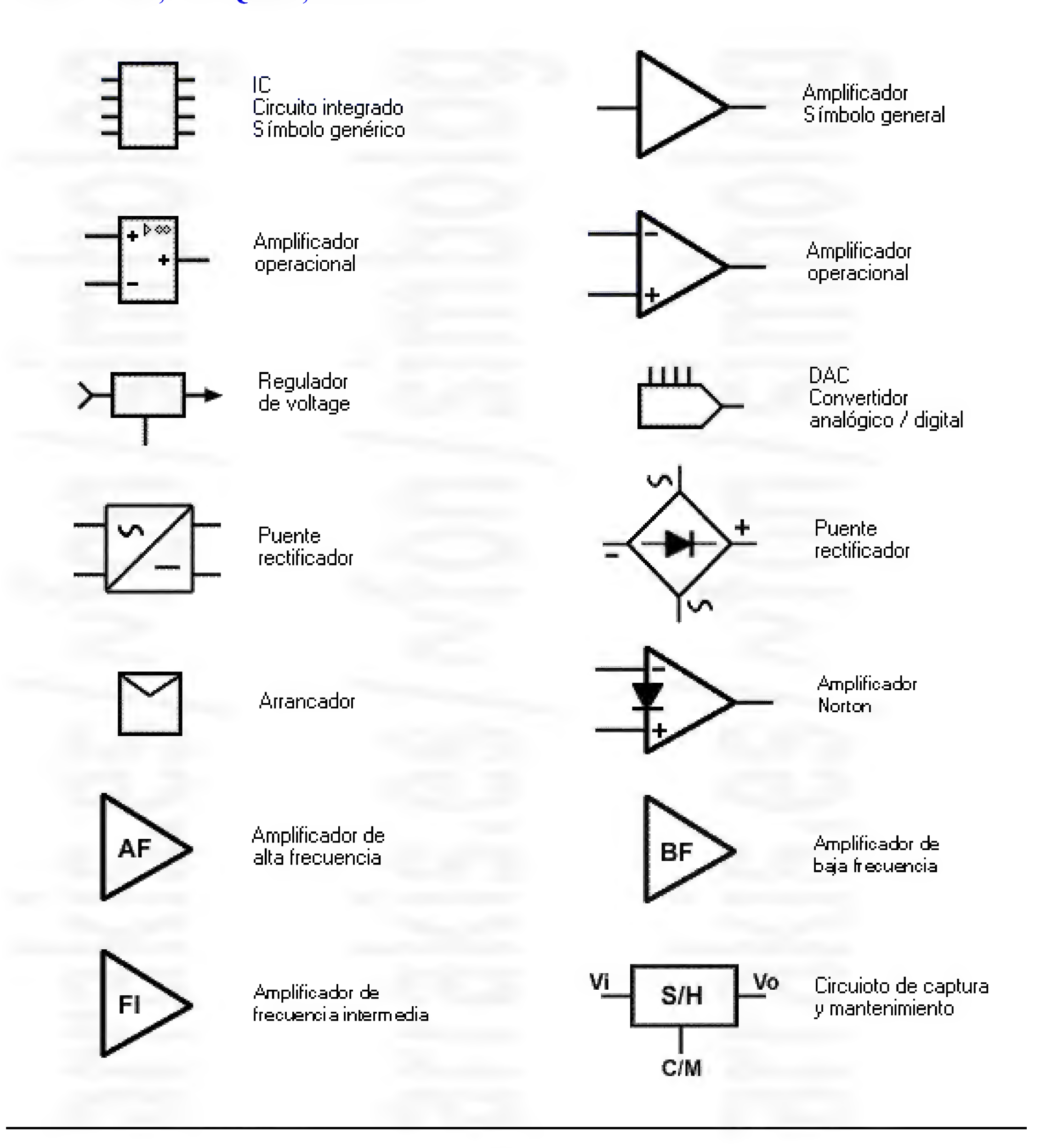

Micrófono
Micrófono de carbón
Borrado de cinta
Micrófono de condensador
Micrófono estéreo
Dolby
Micrófono push-pull
Auricular
Cabeza lectora
Auricular
Auricular estéreo
Cabeza de playback
Cámara de TV color
Cámara de TV b/n
Cabeza de grabación
Monitor de TV color
Monitor de TV b/n
Cabeza de escritura lectura borrado
Cabeza estéreo
Cabeza de borrado
Timbre
Timbre
Timbre *
Timbre con indicador luminoso
Timbre de un solo golpe Gong
Carraca
Zumbador
Sirena
Bocina
Silvato eléctrico
Euro-conector SCART
Simbologia Electrónica
www.arrakis.es/~fon/simbologia
© Alfonso Molinero

BOBINAS

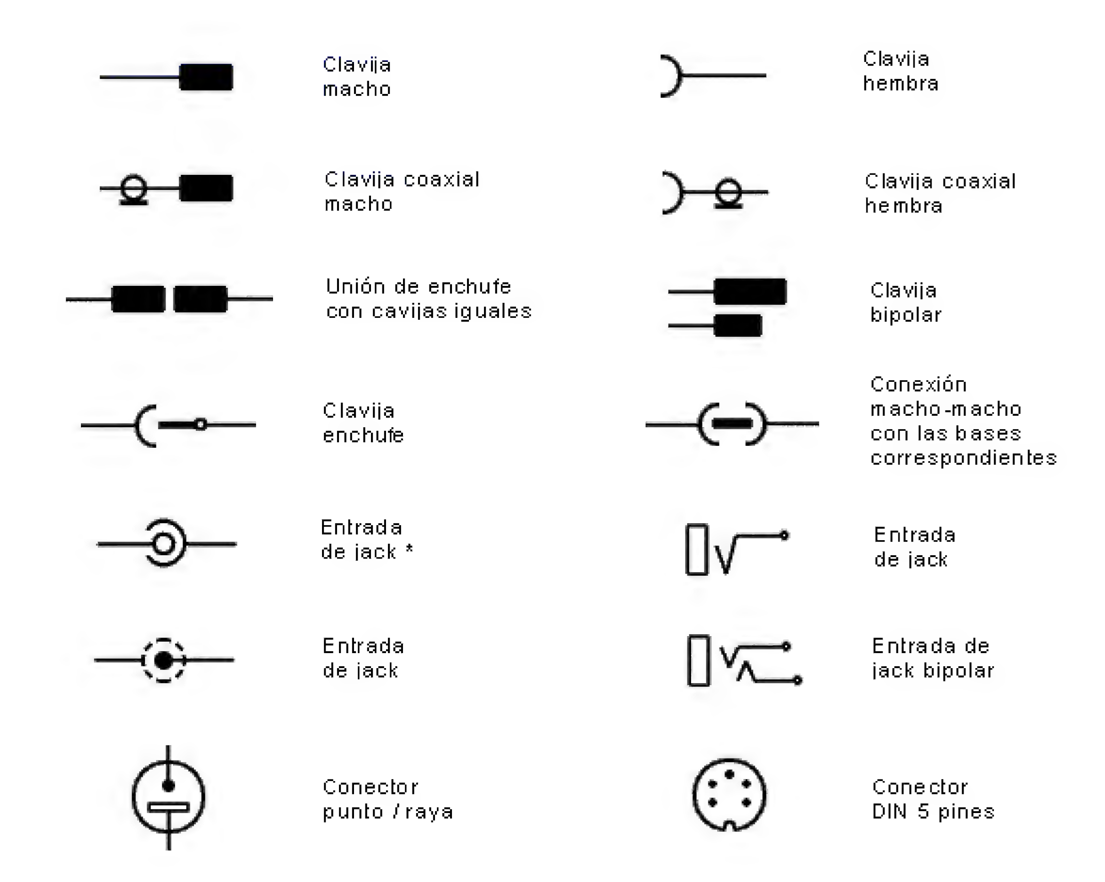

Bobina *
Bobina
Bobina
núcleo Fe-Si
Bobina
blindada
Bobina núcleo
de Ferroxcube
Bobina con toma
de corriente
Bobina
ajustable
Bobina
variable
L
Inductancia
Polaridad
de bobinado
Bobina
electroimán
Bobina con
tomas fijas
CC
Bobina de núcleo
saturable

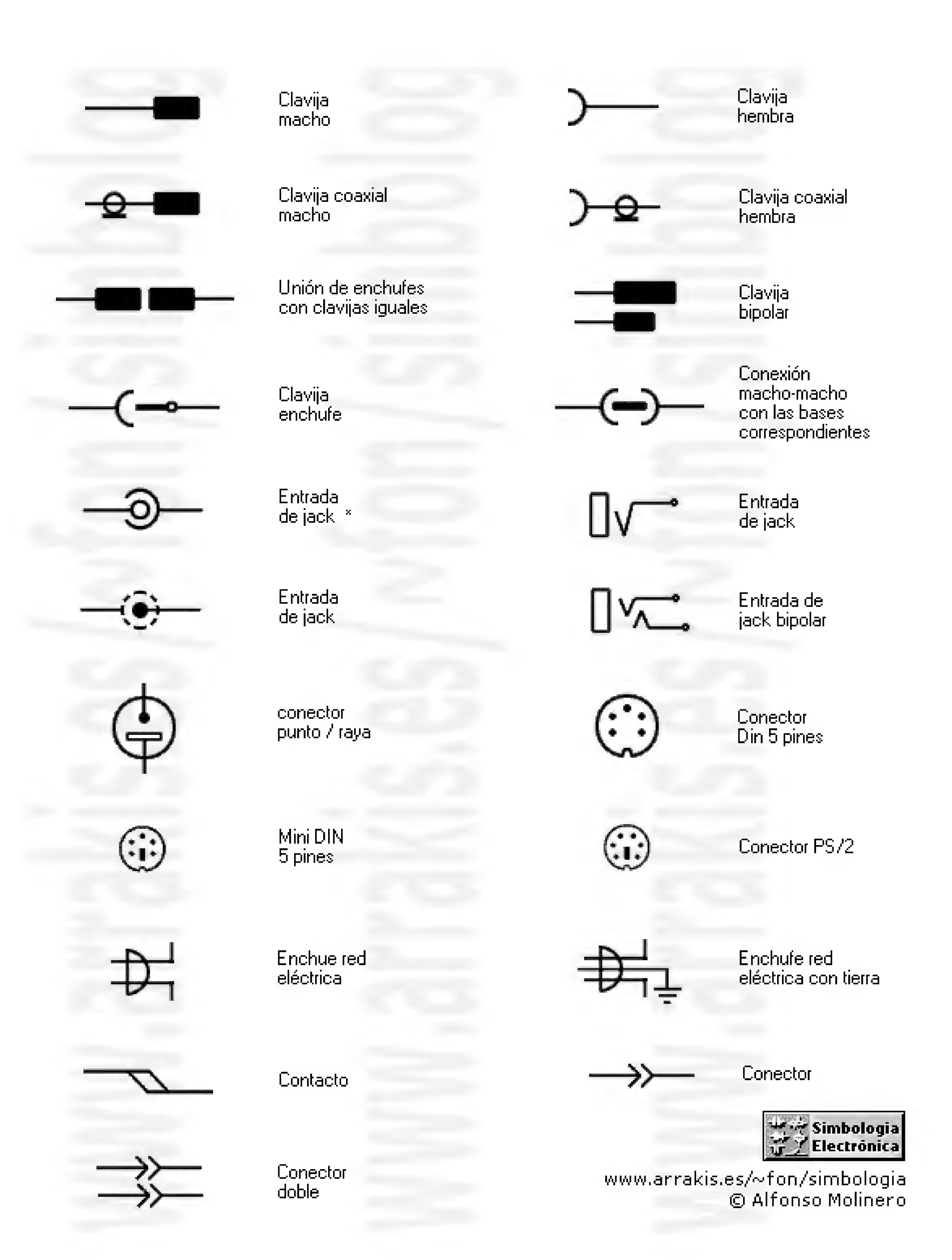

Bobina *
Bobina
Bobina
núcleo Fe-Si
Bobina
blindada
Bobina con núcleo
de ferroxcube
Bobina con toma
de corriente
Bobina
ajustable
Bobina
variable
L
Inductancia
Polaridad
de bobinado
Bobina
electroimán
Bobina
electroimán
CC
Bobina de núcleo
saturable
Bobina con
tomas fijas
Bobina
de delfexión
Bobina
de choque

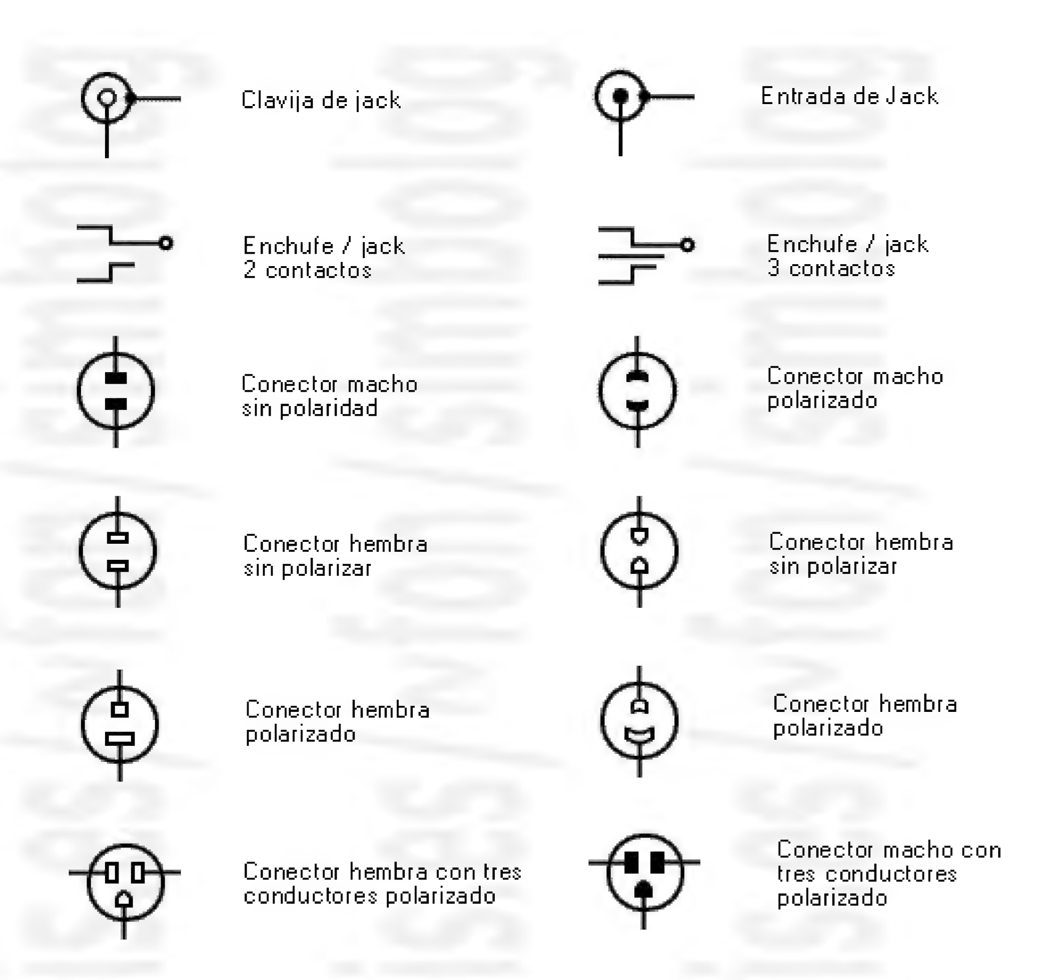
CIRCUITOS, BLOQUES, ETAPAS...



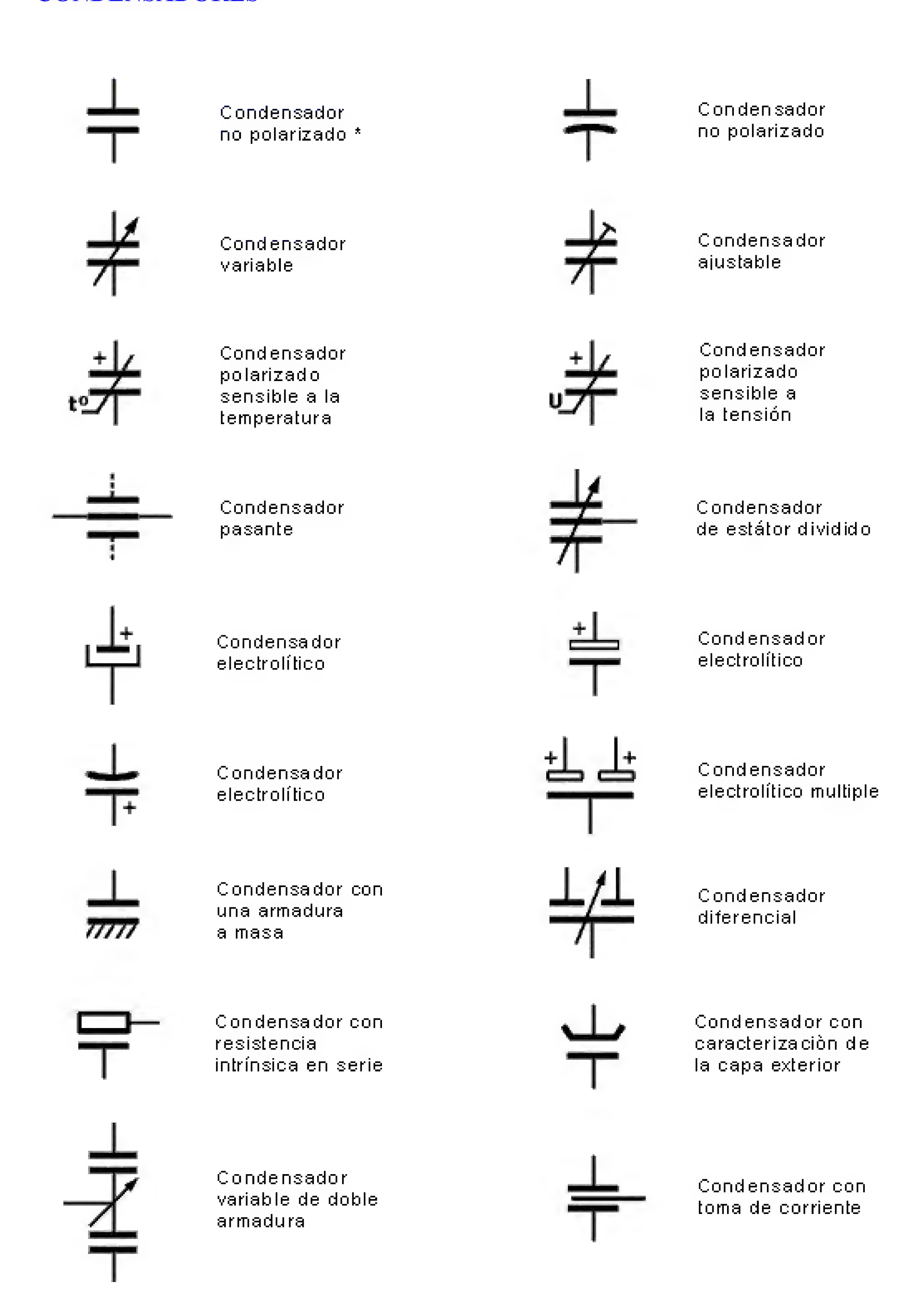
ENCHUFES Y CLAVIJAS

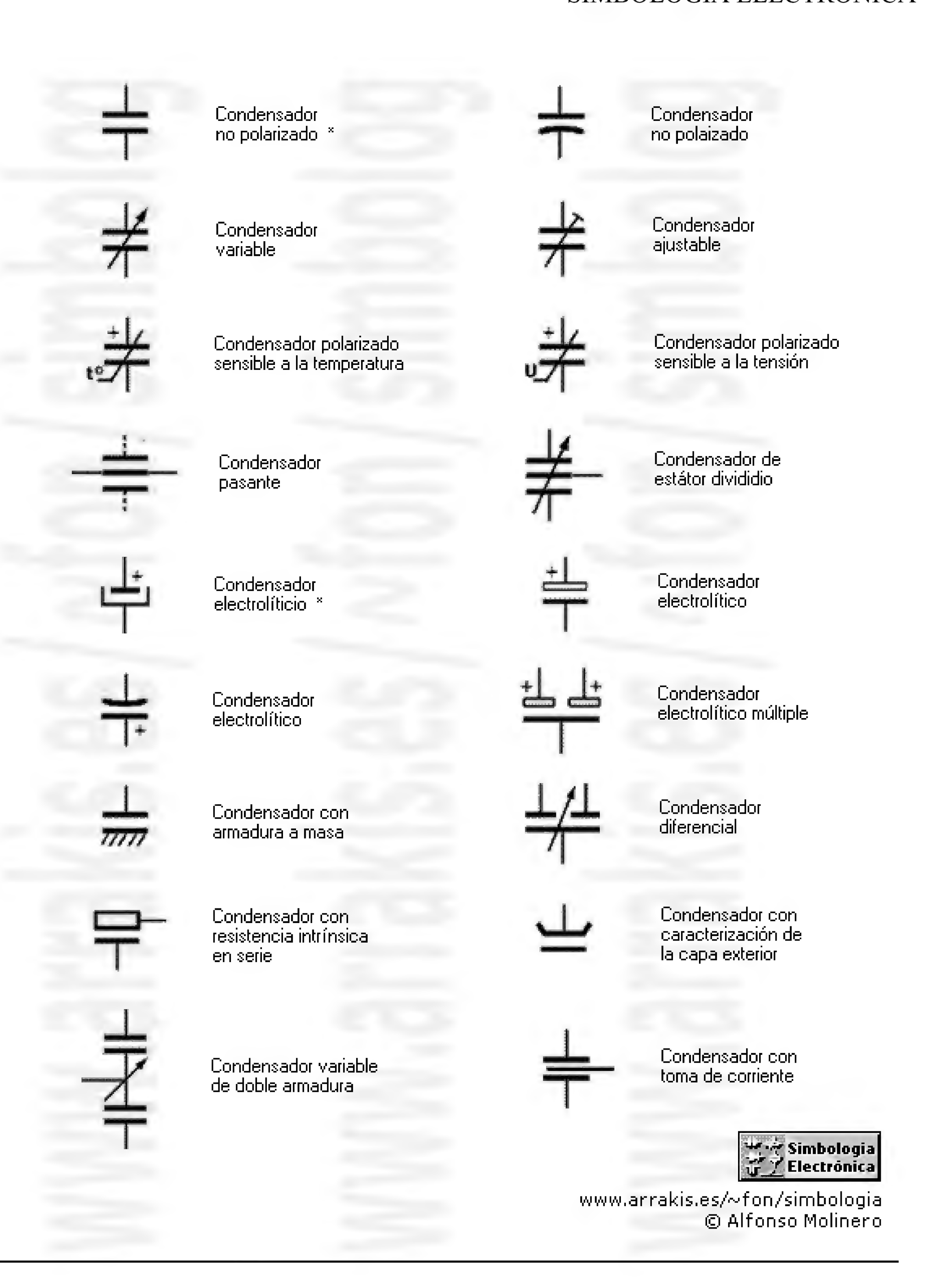



Clavija
macho
Clavija
hembra
Clavija coaxial
macho
Clavija coaxial
hembra
Unión de enchufes
con clavijas iguales
Clavija
bipolar
Clavija
enchufe
Conexión
macho-macho
con las bases
correspondientes
Entrada
de jack *
Entrada
de jack
Entrada
de jack
Entrada de
jack bipolar
conector
punto / raya
Conector
Din 5 pines
Mini DIN
5 pines
Conector PS/2
Enchue red
eléctrica
Enchufe red
eléctrica con tierra
Contacto
Conector
Conector
doble
Simbologia
Electrónica
www.arrakis.es/~fon/simbologia
© Alfonso Molinero

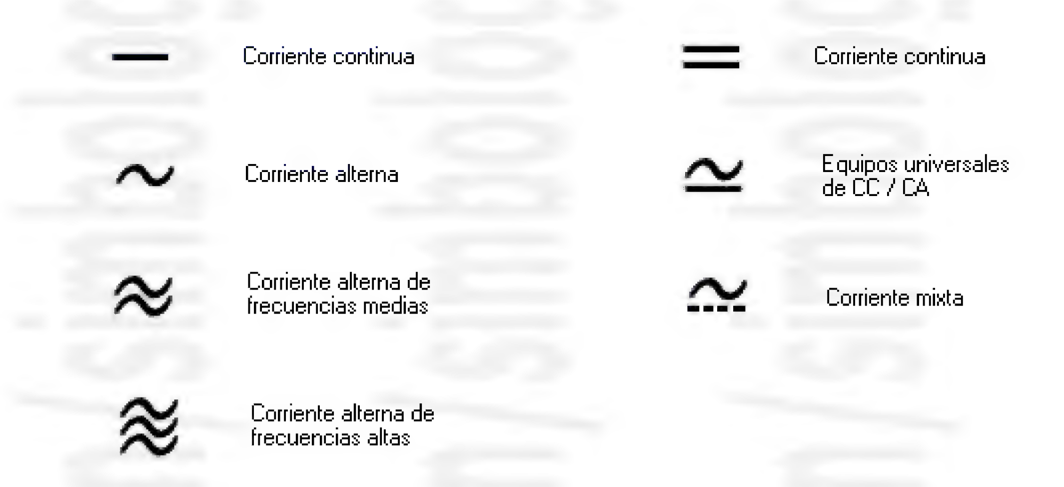

Clavija de jack
Entrada de Jack
Enchufe / jack
2 contactos
Enchufe / jack
3 contactos
Conector macho
sin polaridad
Conector macho
polarizado
Conector hembra
sin polarizar
Conector hembra
sin polarizar
Conector hembra
polarizado
Conector hembra
polarizado
Conector hembra con tres
conductores polarizado
Conector macho con
tres conductores
polarizado

CONDENSADORES

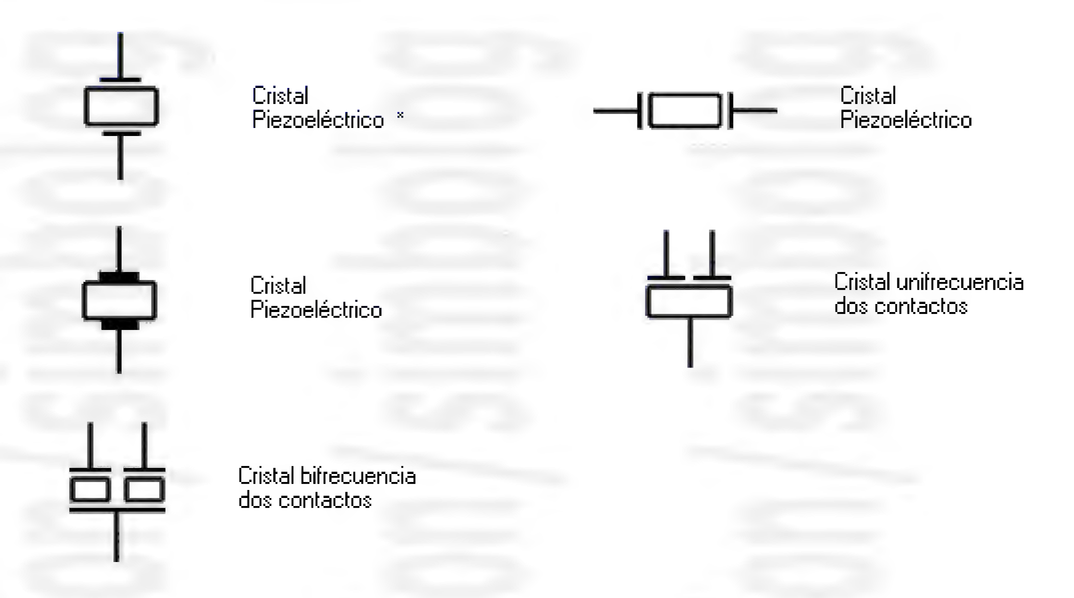



Condensador
no polarizado *
Condensador
no polaizado
Condensador
variable
Condensador
ajustable
Condensador polarizado
sensible a la temperatura
Condensador polarizado
sensible a la tensión
Condensador
pasante
Condensador de
estátor divididio
Condensador
electrolíticio *
Condensador
electrolítico
Condensador
electrolítico
Condensador
electrolítico múltiple
Condensador con
armadura a masa
Condensador
diferencial
Condensador con
resistencia intrínsica
en serie
Condensador con
caracterización de
la capa exterior
Condensador variable
de doble armadura
Condensador con
toma de corriente
Simbologia
Electrónica
www.arrakis.es/~fon/simbologia
© Alfonso Molinero

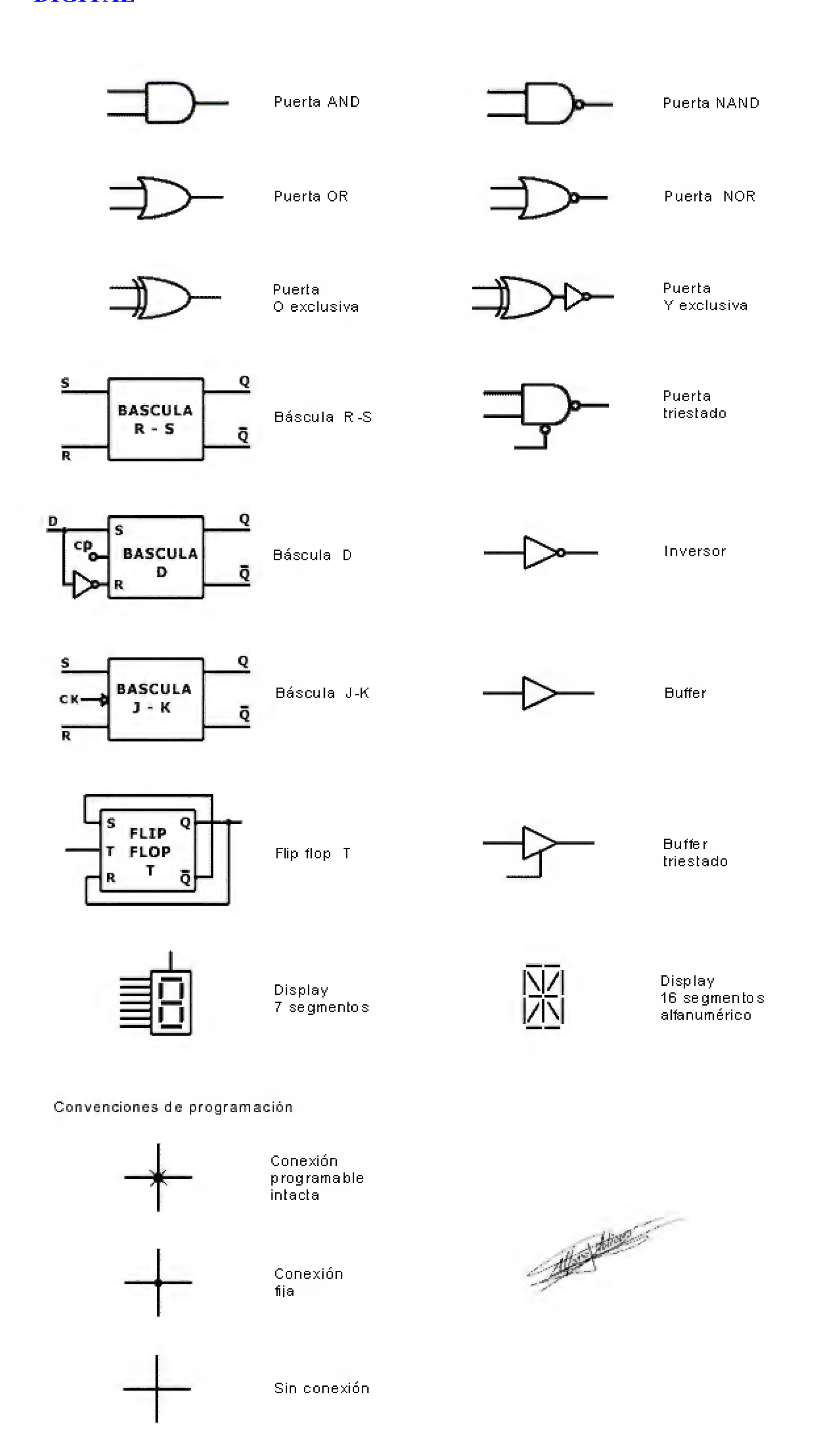
CORRIENTES ELÉCTRICAS



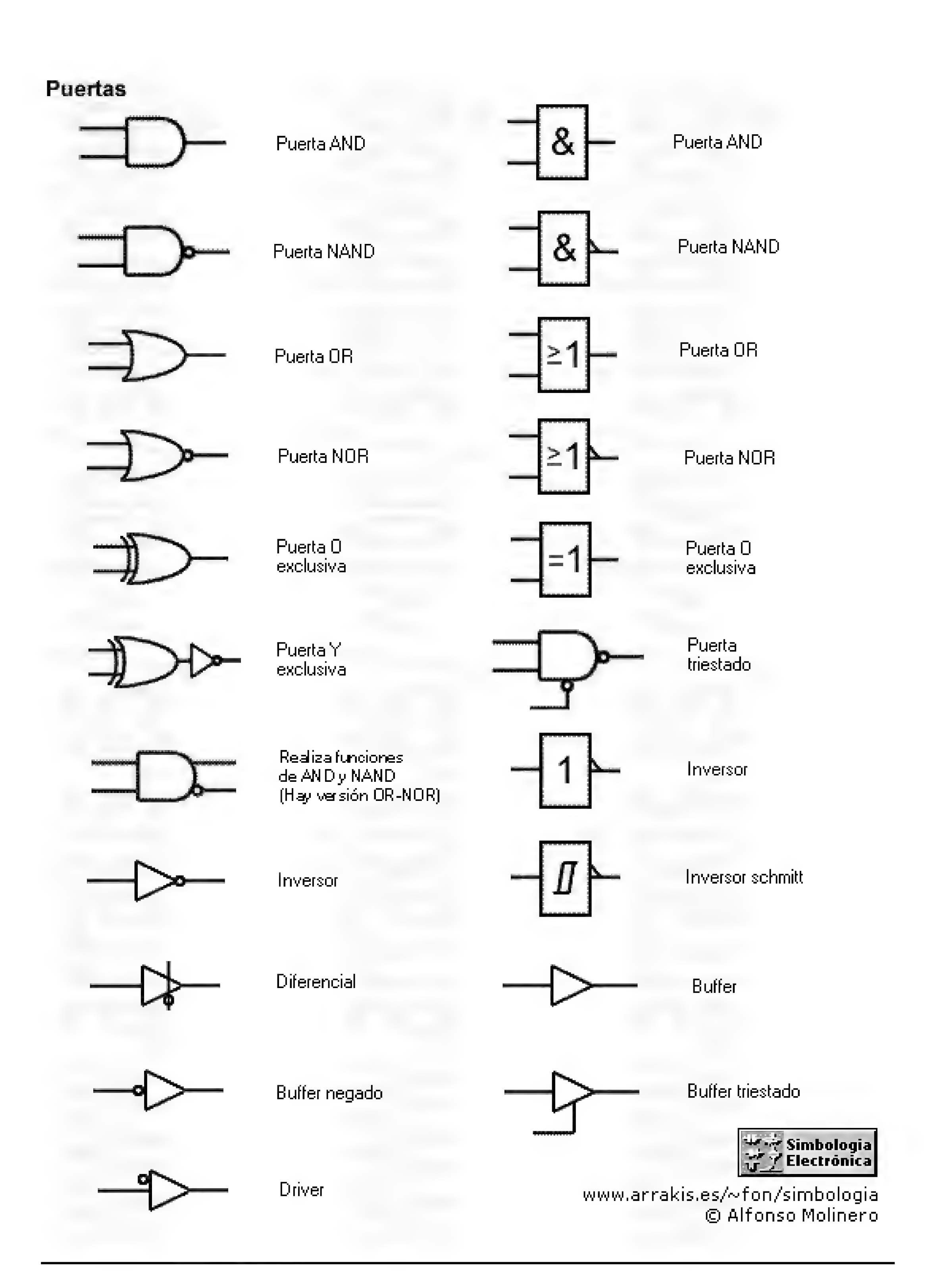
CRISTALES PIEZOELÉCTICOS

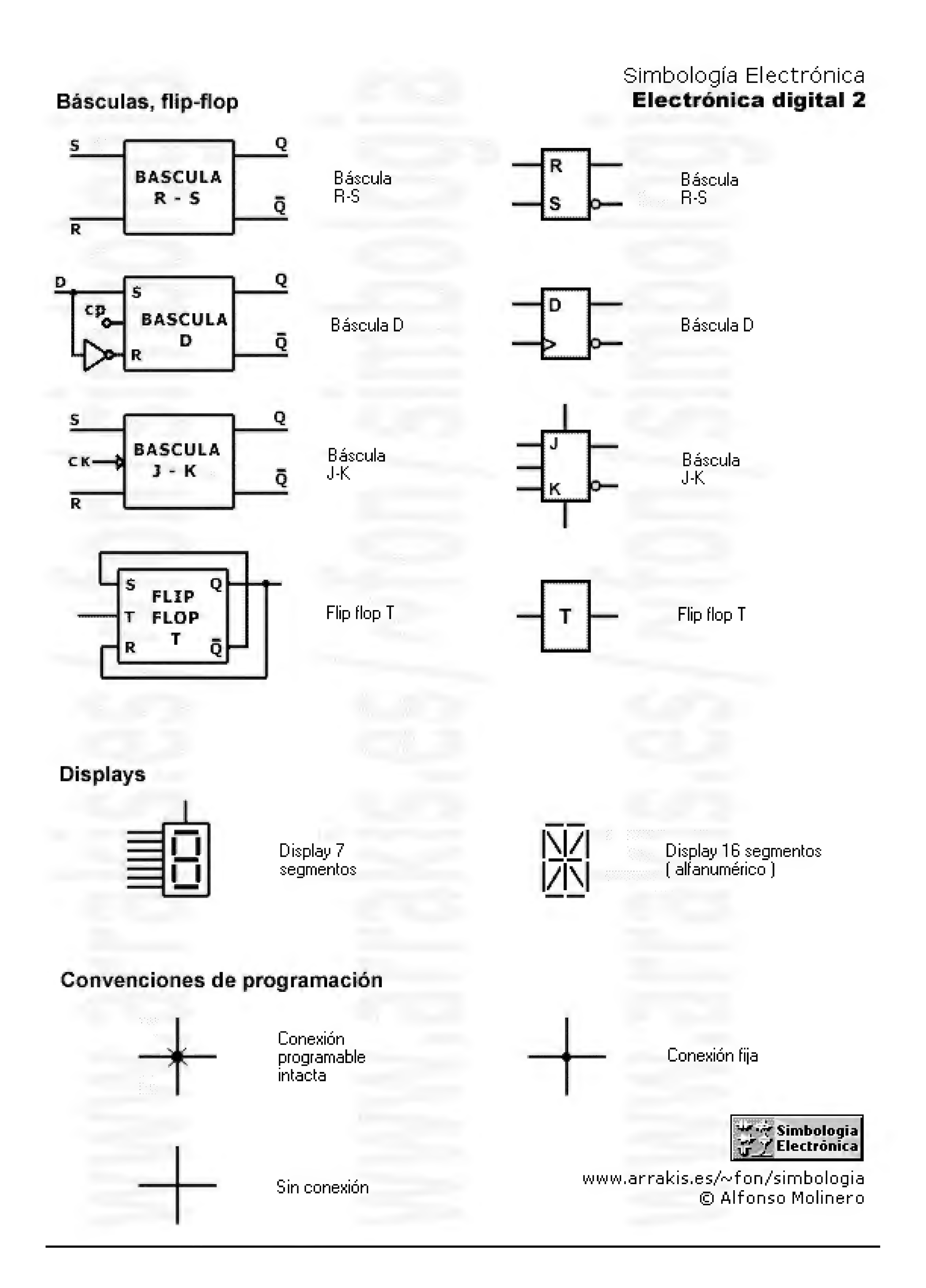


DIGITAL

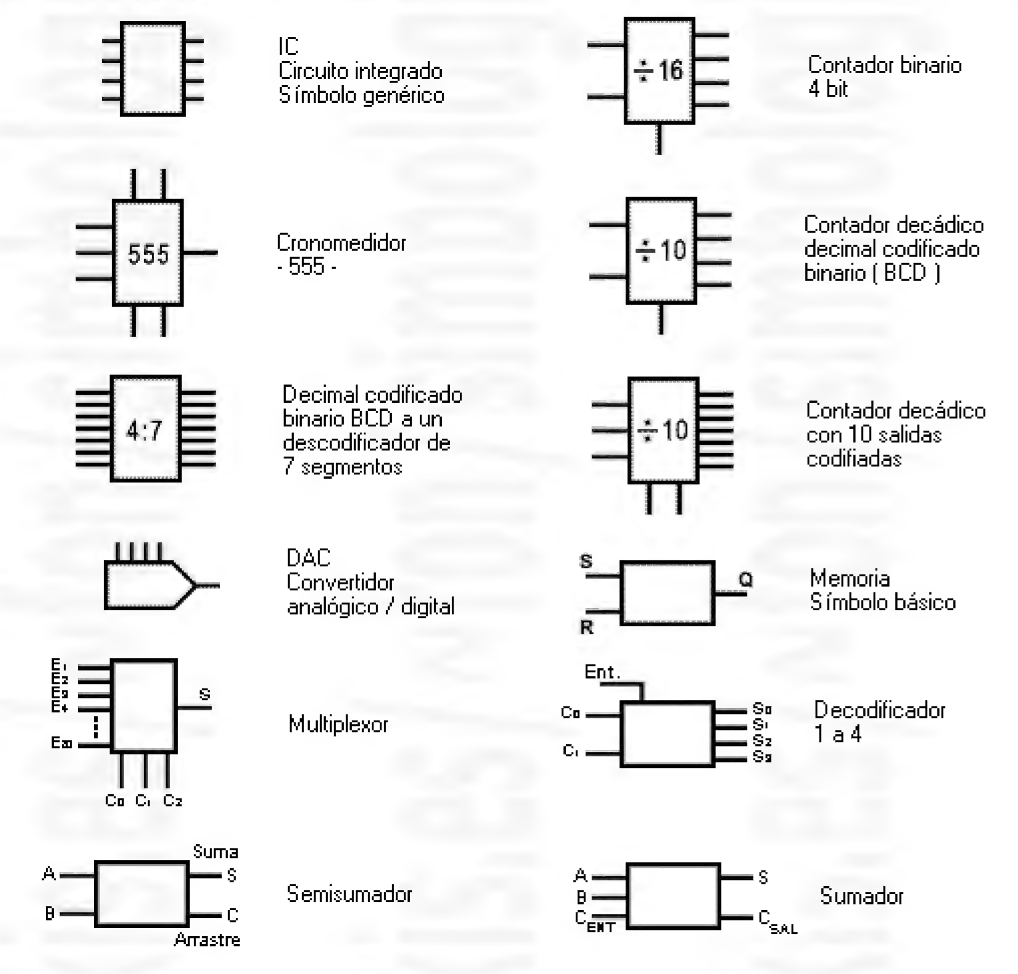


Puerta AND
Puerta NAND
Puerta OR
Puerta NOR
Puerta
O exclusiva
Puerta
Y exclusiva
S
Q
BASCULA
R - S
R
Q̄
Báscula R-S
Puerta
triestado
D
Q
S
cp
BASCULA
D
R
Q̄
Báscula D
Inversor
S
Q
BASCULA
J - K
CK
R
Q̄
Báscula J-K
Buffer
S
FLIP
FLOP
T
Q
T
R
Q̄
Flip flop T
Buffer
triestado
Display
7 segmentos
Display
16 segmentos
alfanumérico
Convenciones de programación
Conexión
programable
intacta
Conexión
fija
Sin conexión

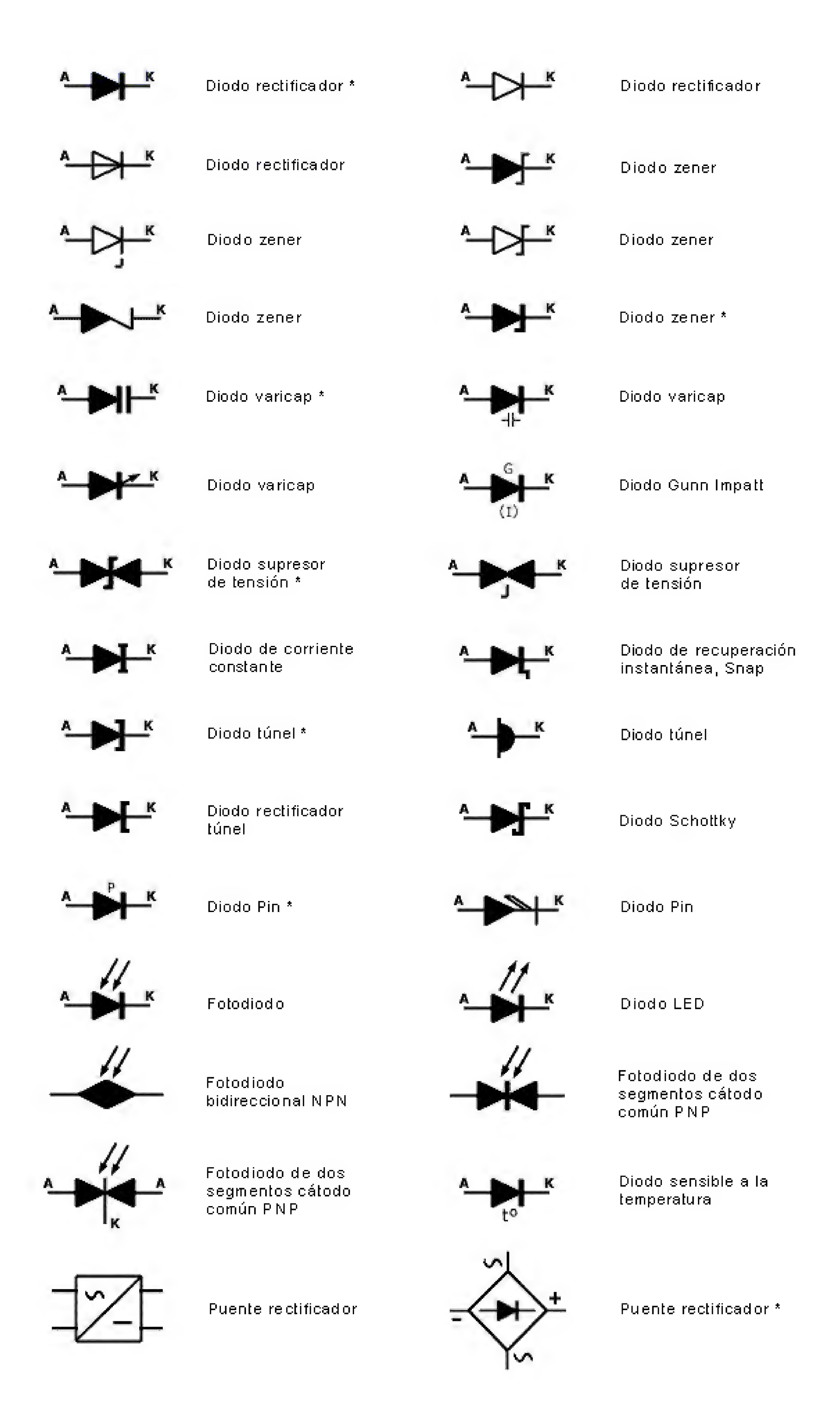

Puertas
Puerta AND
&
Puerta AND
Puerta NAND
&
Puerta NAND
Puerta OR
≥1
Puerta OR
Puerta NOR
≥1
Puerta NOR
Puerta O exclusiva
=1
Puerta O exclusiva
Puerta Y exclusiva
Puerta triestado
Realiza funciones de AND y NAND (Hay versión OR-NOR)
1
Inversor
Inversor
Inversor schmitt
Diferencial
Buffer
Buffer negado
Buffer triestado
Driver
Simbologia Electrónica
www.arrakis.es/~fon/simbologia
© Alfonso Molinero


Simbología Electrónica
Electrónica digital 2
Básculas, flip-flop
S
Q
BASCULA
R - S
R
Q̄
Báscula
R-S
R
S
Báscula
R-S
D
cp
S
BASCULA
D
R
Q
Q̄
Báscula D
D
Báscula D
S
CK
BASCULA
J - K
R
Q
Q̄
Báscula
J-K
J
K
Báscula
J-K
S
T
R
FLIP
FLOP
T
Q
Q̄
Flip flop T
T
Flip flop T
Displays
Display 7
segmentos
Display 16 segmentos
(alfanumérico)
Convenciones de programación
Conexión
programable
intacta
Conexión fija
Sin conexión
Simbologia
Electrónica
www.arrakis.es/~fon/simbologia
© Alfonso Molinero

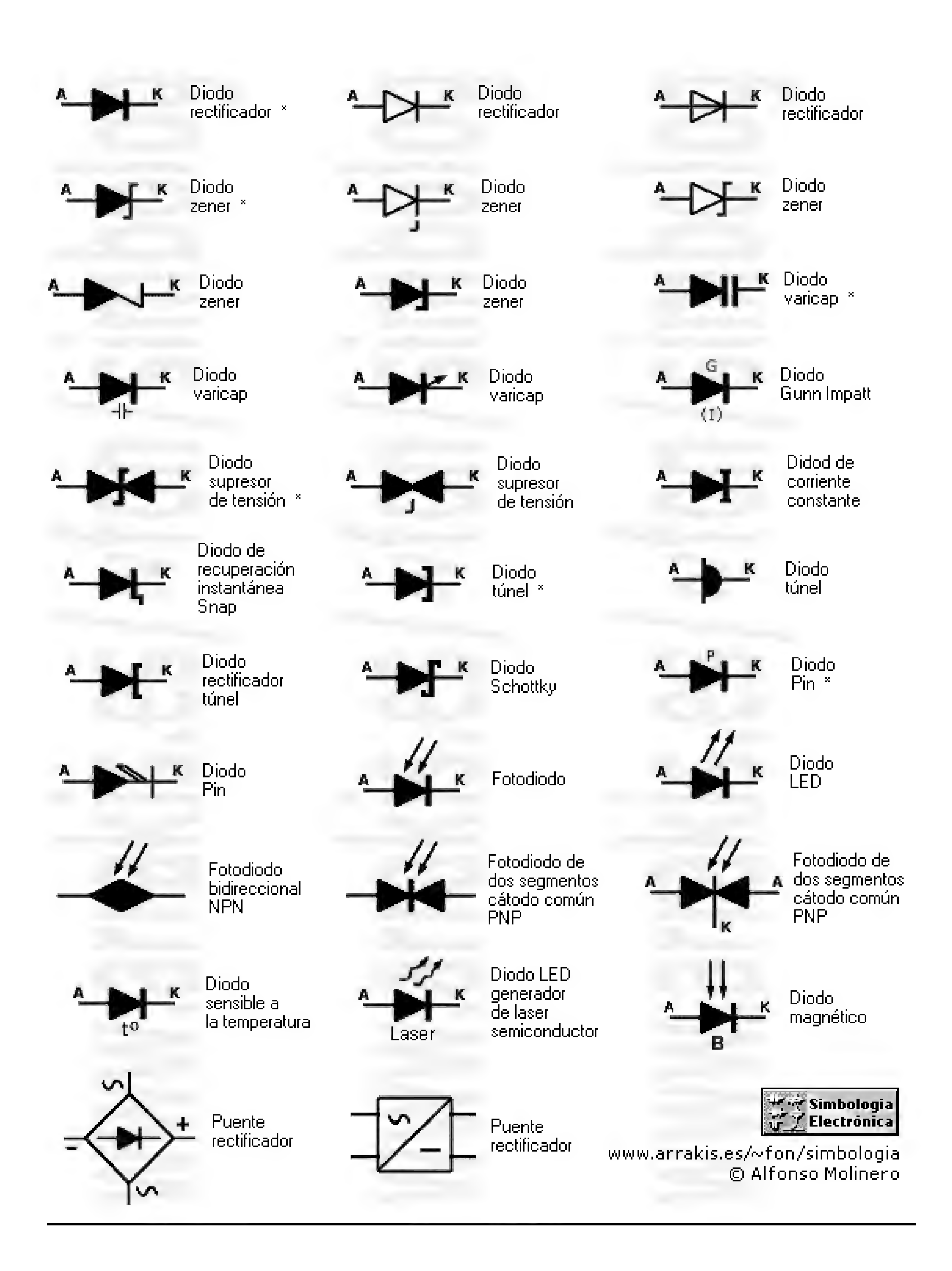
Circuitos digitales



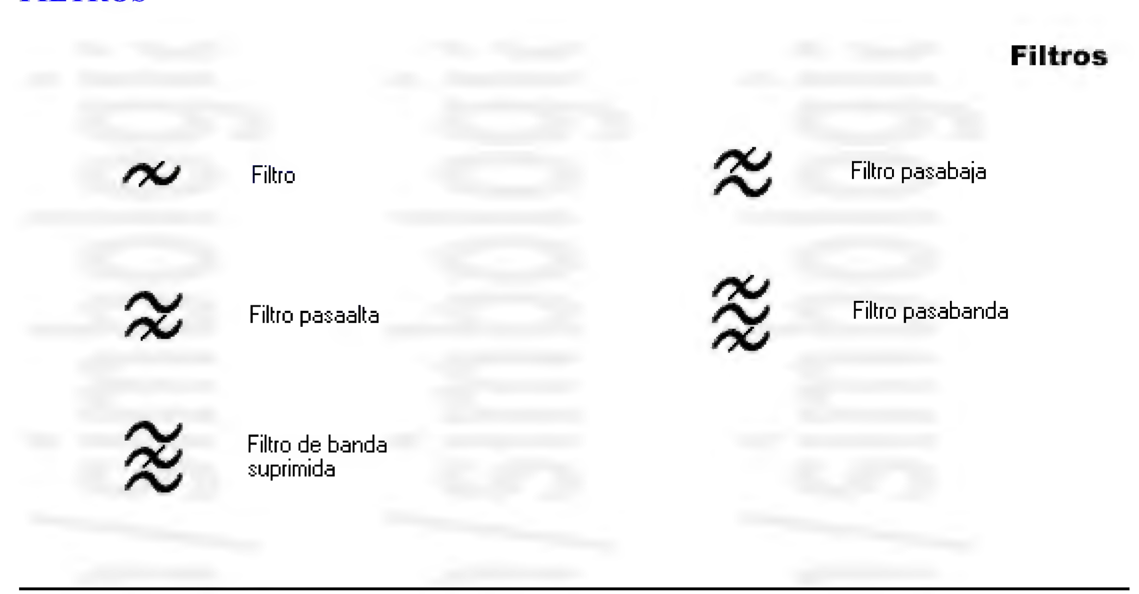
DIODOS



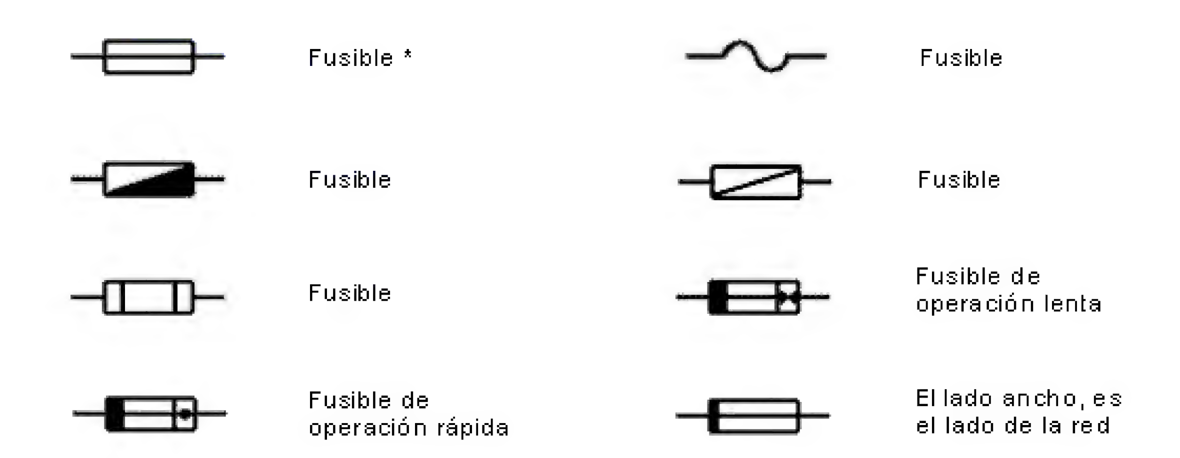
A
K
Diodo rectificador *
Diodo rectificador
Diodo rectificador
Diodo zener
Diodo zener
Diodo zener
Diodo zener
Diodo zener *
Diodo varicap *
Diodo varicap
Diodo varicap
G
(I)
Diodo Gunn Impatt
Diodo supresor de tensión *
Diodo supresor de tensión
Diodo de corriente constante
Diodo de recuperación instantánea, Snap
Diodo túnel *
Diodo túnel
Diodo rectificador túnel
Diodo Schottky
P
Diodo Pin *
Diodo Pin
Fotodiodo
Diodo LED
Fotodiodo bidireccional NPN
Fotodiodo de dos segmentos cátodo común PNP
Fotodiodo de dos segmentos cátodo común PNP
Diodo sensible a la temperatura
t°
Puente rectificador
Puente rectificador *

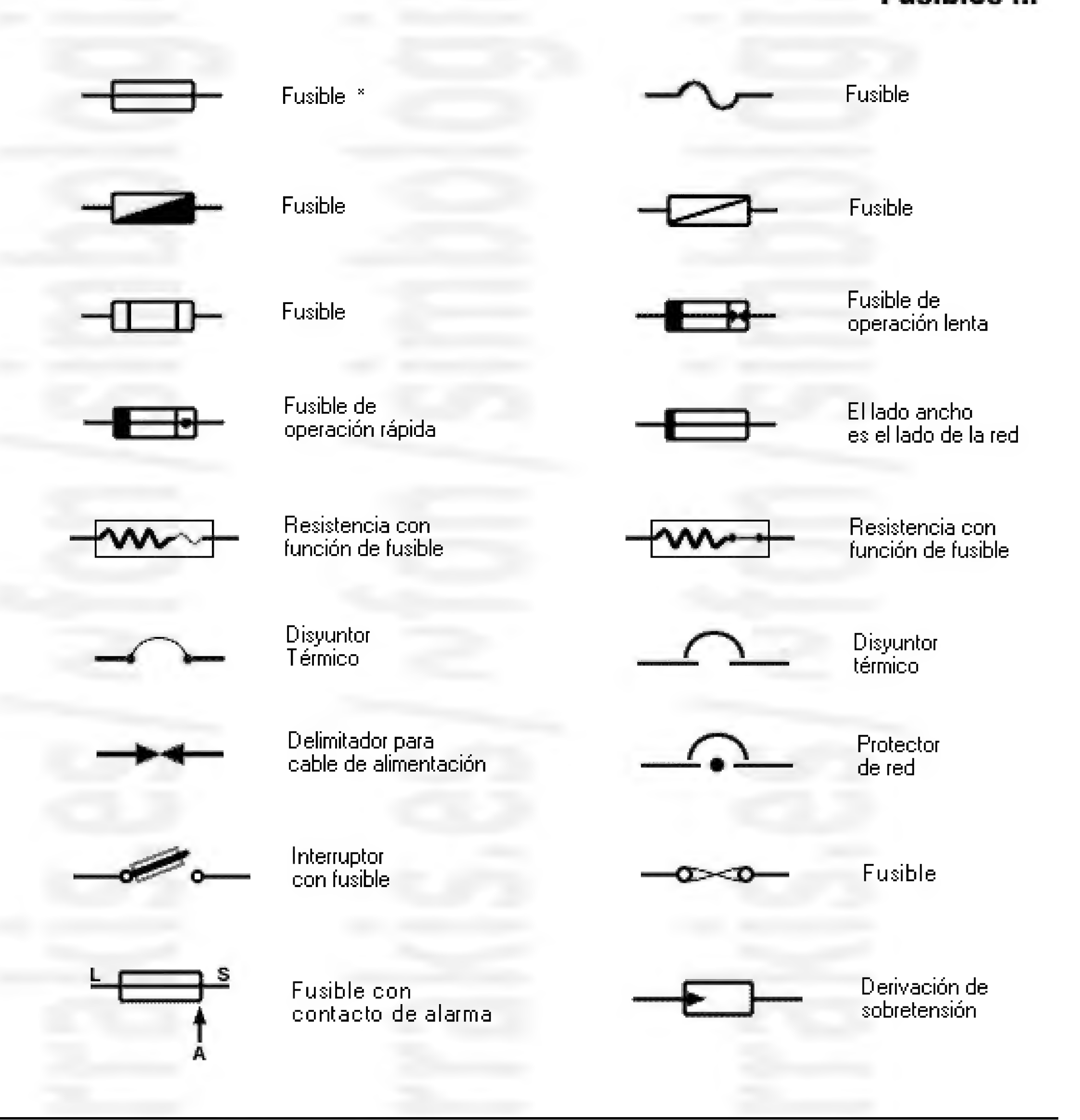

A
K
Diodo
rectificador *
Diodo
rectificador
Diodo
rectificador
Diodo
zener *
Diodo
zener
Diodo
zener
Diodo
zener
Diodo
zener
Diodo
varicap *
Diodo
varicap
Diodo
varicap
G
Diodo
Gunn Impatt
(I)
Diodo
supresor
de tensión *
Diodo
supresor
de tensión
Didod de
corriente
constante
Diodo de
recuperación
instantánea
Snap
Diodo
túnel *
Diodo
túnel
Diodo
rectificador
túnel
Diodo
Schottky
P
Diodo
Pin *
Diodo
Pin
Fotodiodo
Diodo
LED
Fotodiodo
bidireccional
NPN
Fotodiodo de
dos segmentos
cátodo común
PNP
Fotodiodo de
dos segmentos
cátodo común
PNP
Diodo
sensible a
la temperatura
t°
Diodo LED
generador
de laser
semiconductor
Laser
Diodo
magnético
B
Puente
rectificador
Puente
rectificador
Simbologia
Electrónica
www.arrakis.es/~fon/simbologia
© Alfonso Molinero

FILTROS

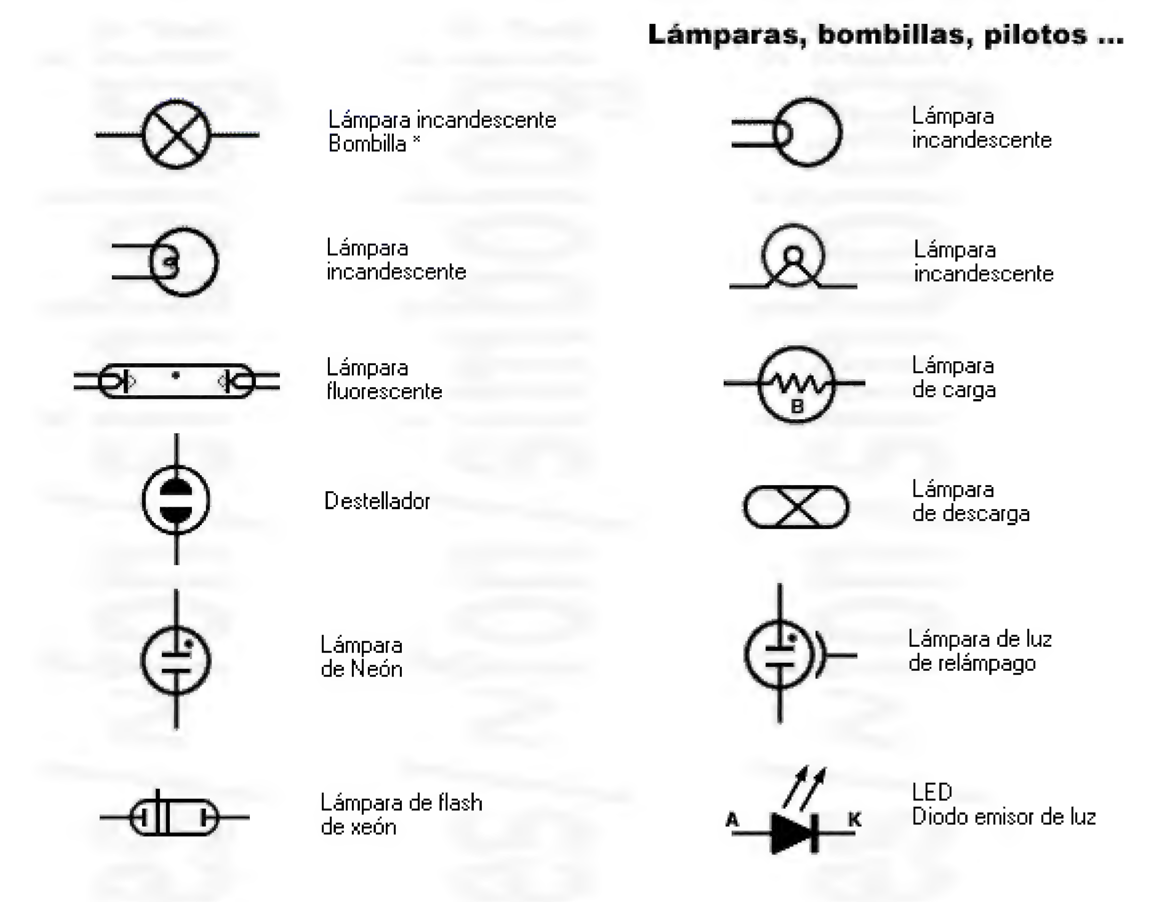


FUSIBLES

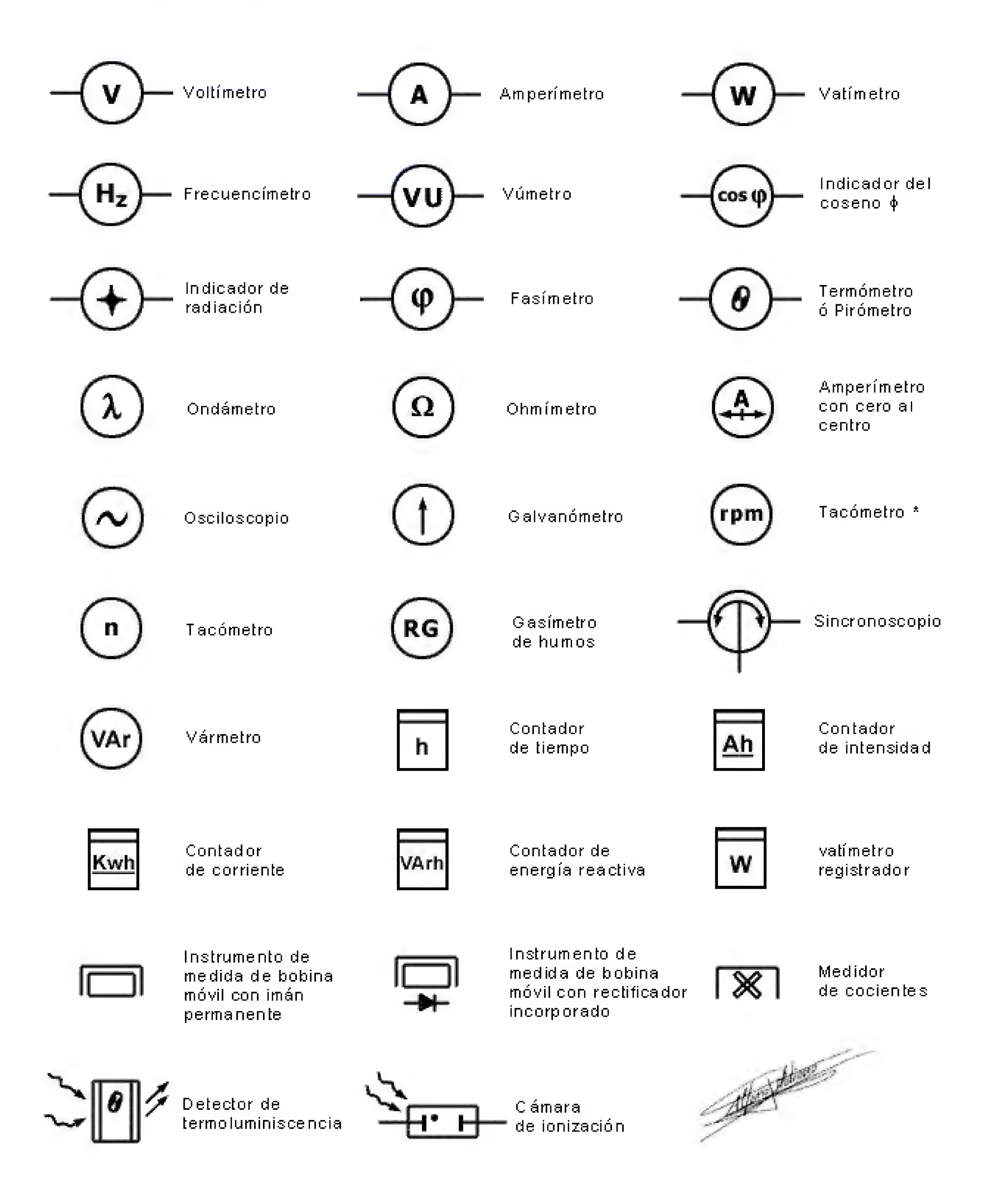


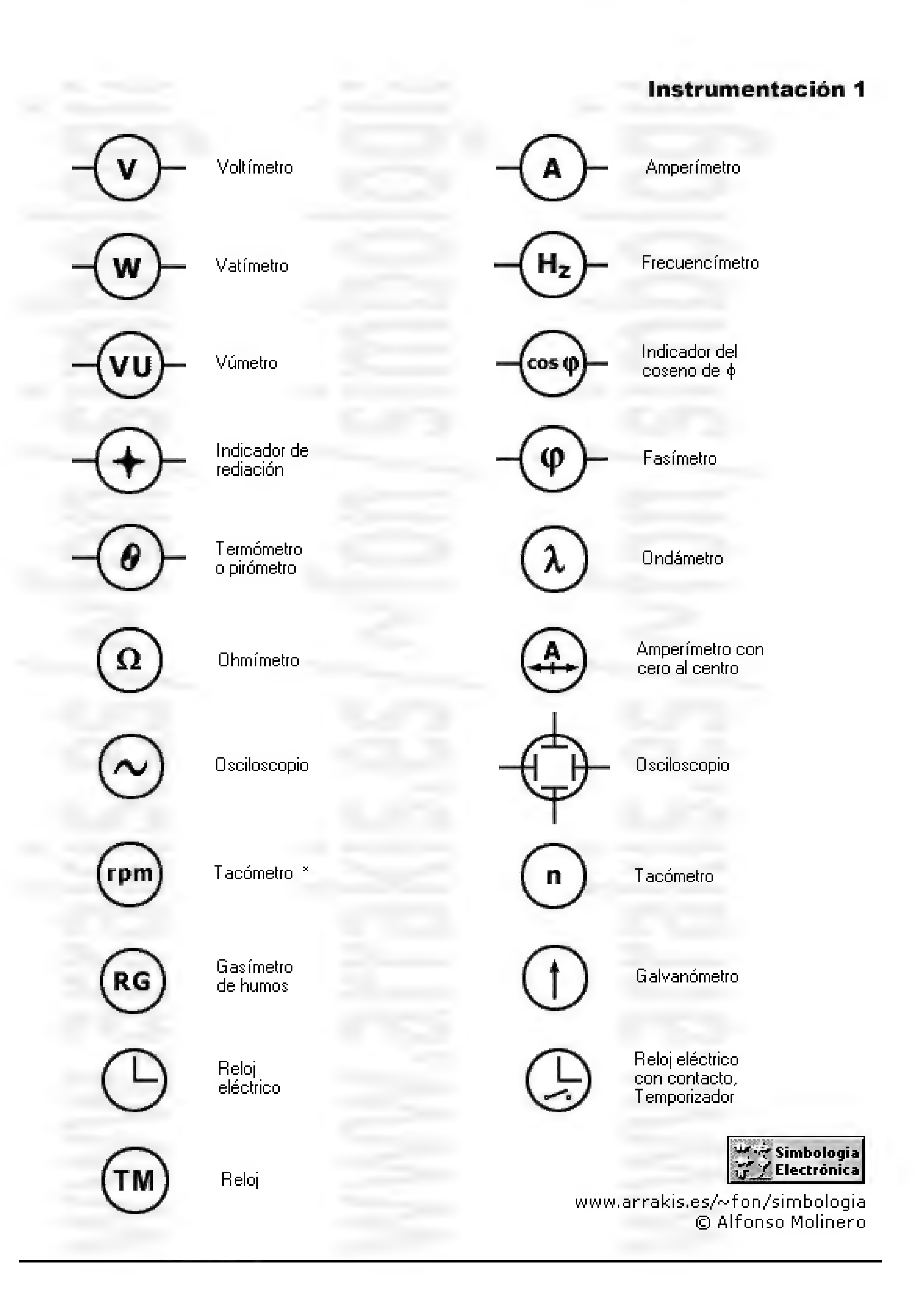

Fusibles ...
Fusible *
Fusible
Fusible
Fusible
Fusible
Fusible de operación lenta
Fusible de operación rápida
El lado ancho es el lado de la red
Resistencia con función de fusible
Resistencia con función de fusible
Disyuntor Térmico
Disyuntor térmico
Delimitador para cable de alimentación
Protector de red
Interruptor con fusible
Fusible
L
S
A
Fusible con contacto de alarma
Derivación de sobretensión

ILUMINACIÓN



INSTRUMENTACIÓN

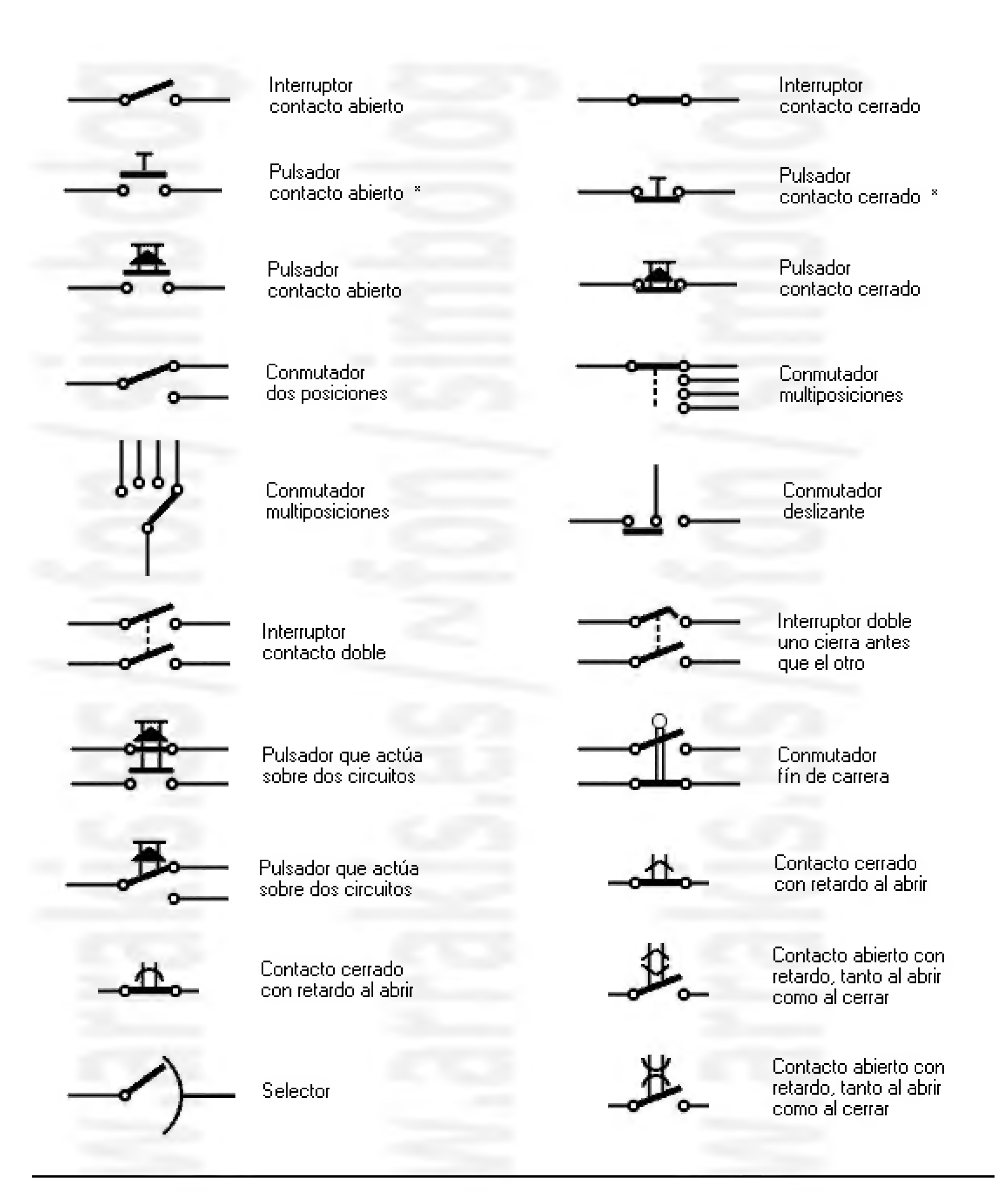


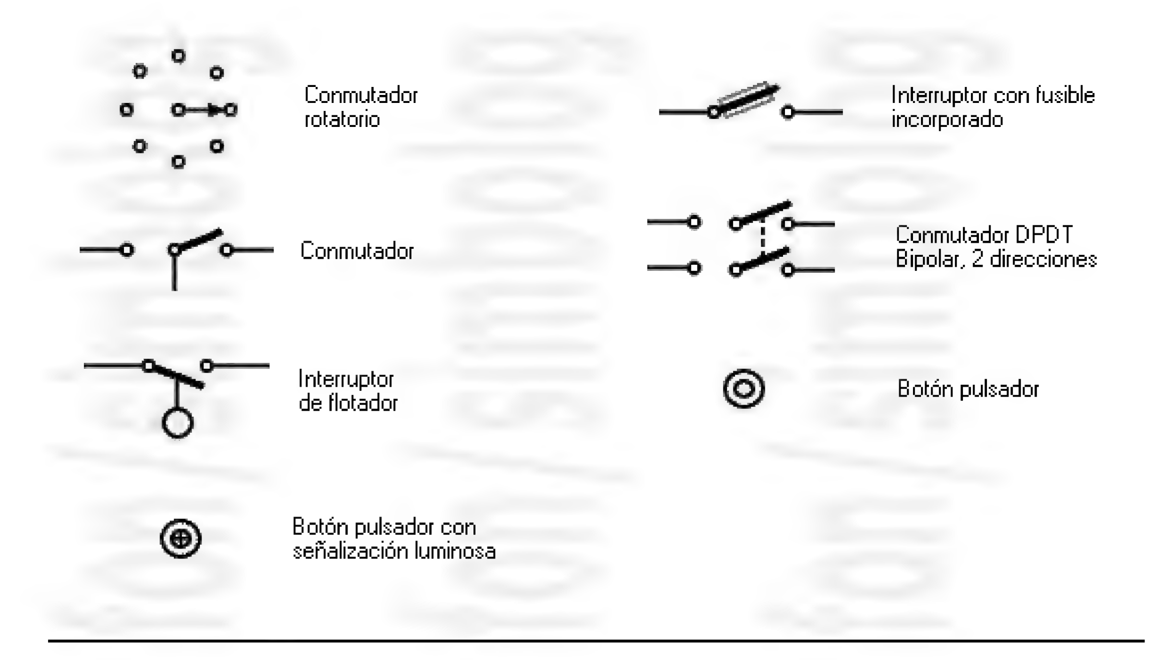

Instrumentación 1
V
Voltímetro
A
Amperímetro
W
Vatímetro
Hz
Frecuencímetro
VU
Vúmetro
cos φ
Indicador del coseno de ϕ
Indicador de rediación
φ
Fasímetro
θ
Termómetro o pirómetro
λ
Ondámetro
Ω
Ohmímetro
A
Amperímetro con cero al centro
Osciloscopio
Osciloscopio
rpm
Tacómetro *
n
Tacómetro
RG
Gasímetro de humos
Galvanómetro
Reloj eléctrico
Reloj eléctrico con contacto, Temporizador
TM
Reloj
Simbologia Electrónica
www.arrakis.es/~fon/simbologia
© Alfonso Molinero


VAr
Vármetro
Sincronoscopio
Ah
Contador
de intensidad
Kwh
Contador
de corriente
VArh
Contador
de energía reactiva
W
Vatímetro
registrador
h
Contador
de tiempo
Instrumento de medida
de bobina móvil con
imán permanente
Instrumento de medida
de bobina móvil con
rectificador incorporado
Medidor
de cocientes
θ
Detector
de termoluminiscencia
Escintilador
Cámara
de ionización
Medidor
símbolo genérico
Medidor
símbolo genérico
Comparador de fase

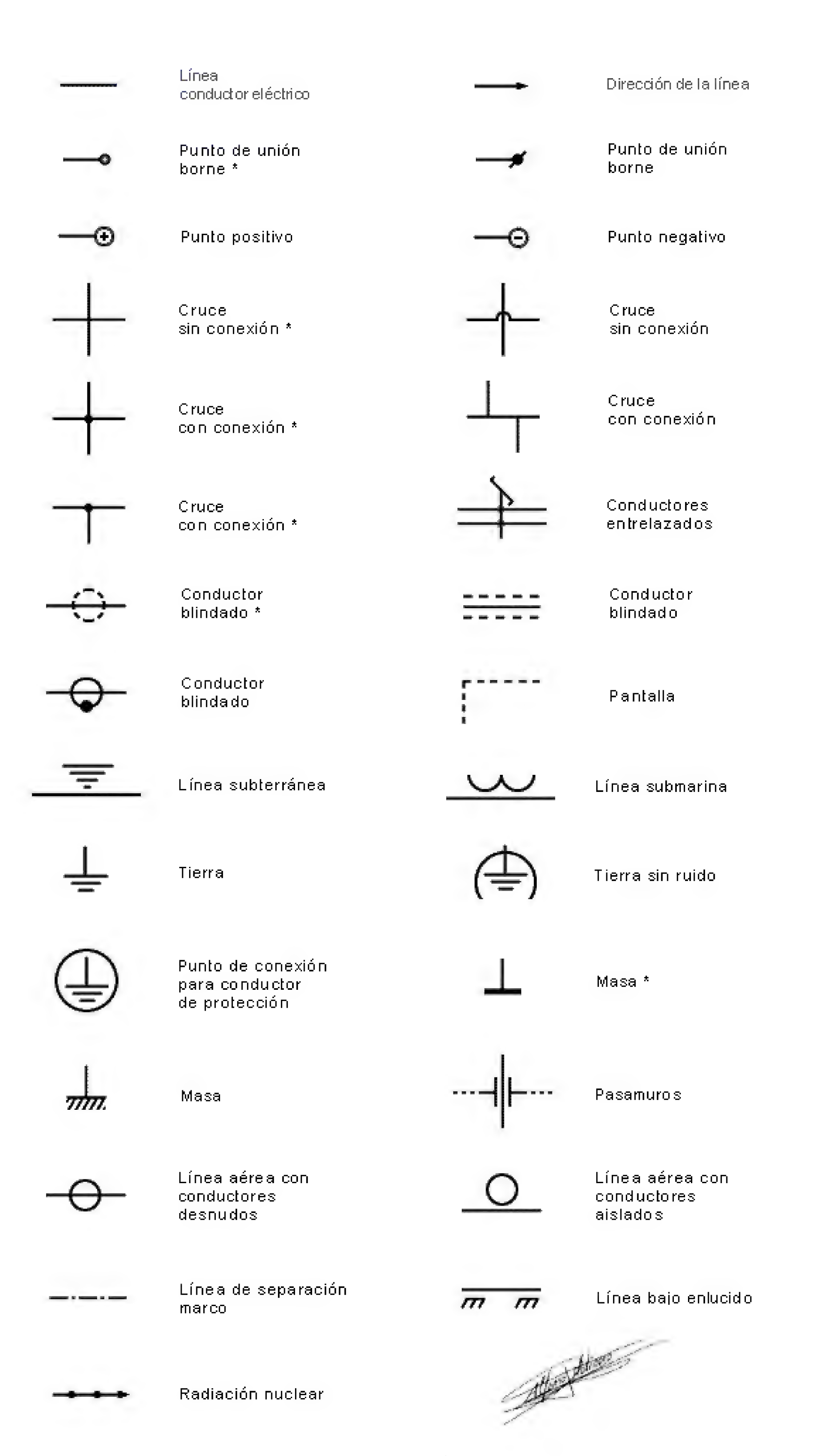
INTERRUPTORES Y CONMUTADORES

Interruptor contacto abierto	Interruptor contacto cerrado
Pulsador contacto abierto *	Pulsador contacto cerrado *
Pulsador contacto abierto	Pulsador contacto cerrado
Conmutador dos posiciones	Conmutador multiposiciones
Conmutador multiposiciones	Conmutador deslizante
Interruptor contacto doble	Interruptor doble uno cierra antes que el otro
Pulsador que actúa sobre dos circuitos	Conmutador fin de carrera
Pulsador que actúa sobre dos circuitos	Contacto cerrado con retardo al abrir
Contacto cerrado con retardo al abrir	Contacto abierto con retardo, tanto al abrir como al cerrar
Selector	Contacto abierto con retardo, tanto al abrir como al cerrar
Botón pulsador	Botón pulsador con señalización luminosa

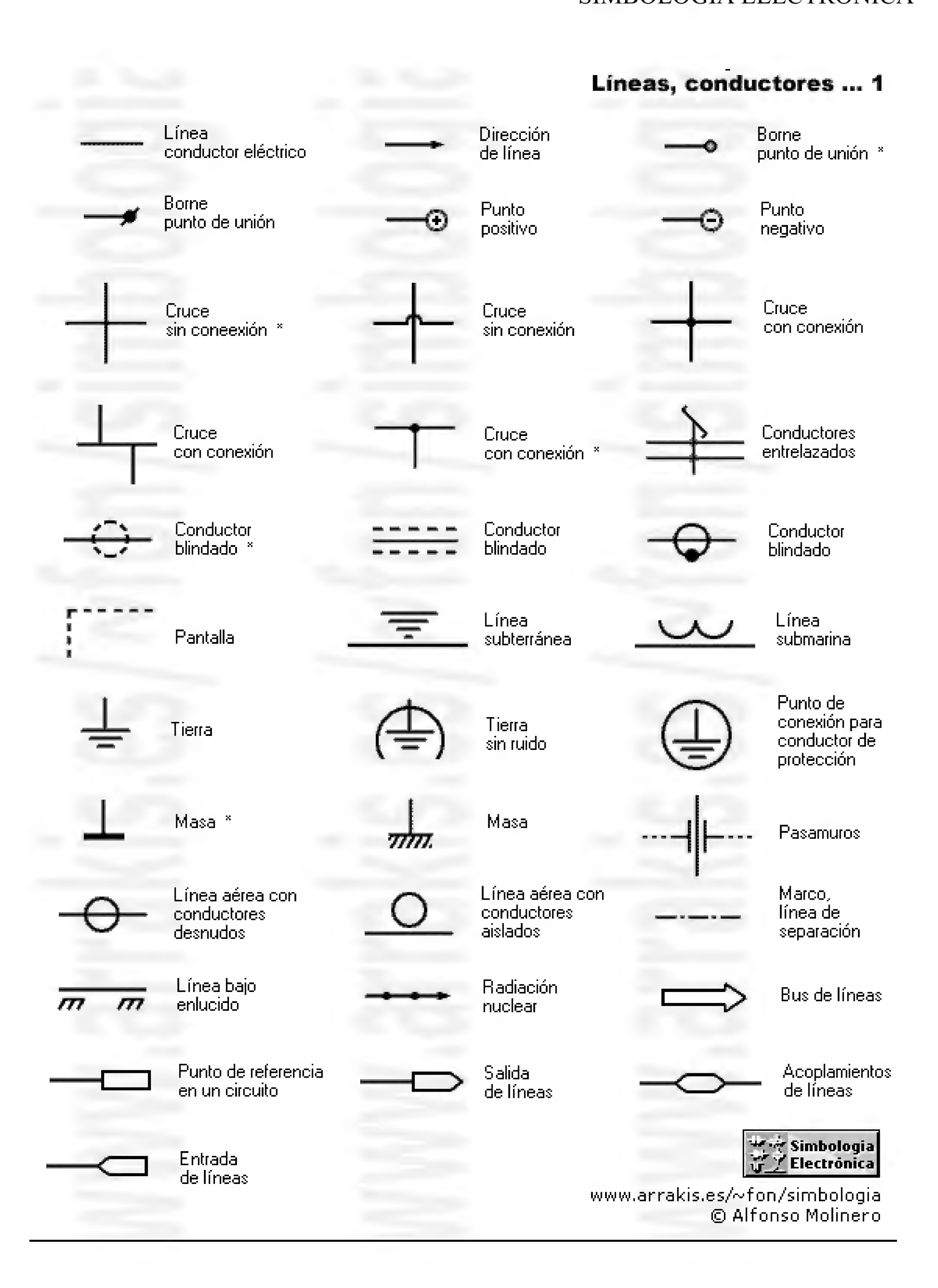

Interruptor
contacto abierto
Interruptor
contacto cerrado
Pulsador
contacto abierto *
Pulsador
contacto cerrado *
Pulsador
contacto abierto
Pulsador
contacto cerrado
Conmutador
dos posiciones
Conmutador
multiposiciones
Conmutador
multiposiciones
Conmutador
deslizante
Interruptor
contacto doble
Interruptor doble
uno cierra antes
que el otro
Pulsador que actúa
sobre dos circuitos
Conmutador
fín de carrera
Pulsador que actúa
sobre dos circuitos
Contacto cerrado
con retardo al abrir
Contacto cerrado
con retardo al abrir
Contacto abierto con
retardo, tanto al abrir
como al cerrar
Selector
Contacto abierto con
retardo, tanto al abrir
como al cerrar

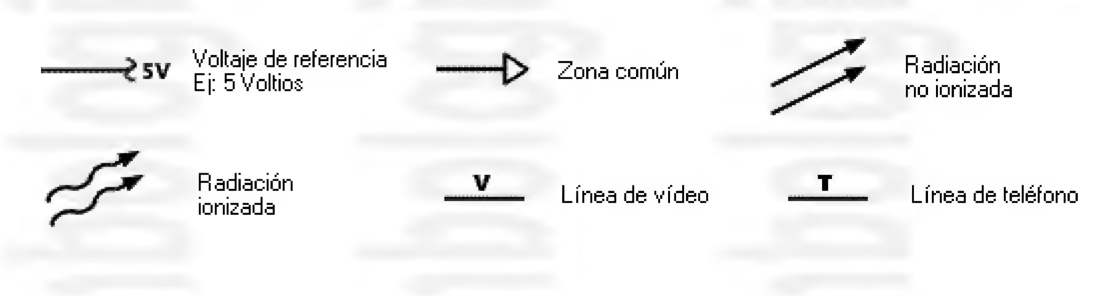

Conmutador
rotatorio
Interruptor con fusible
incorporado
Conmutador
Conmutador DPDT
Bipolar, 2 direcciones
Interruptor
de flotador
Botón pulsador
Botón pulsador con
señalización luminosa

LÍNEAS

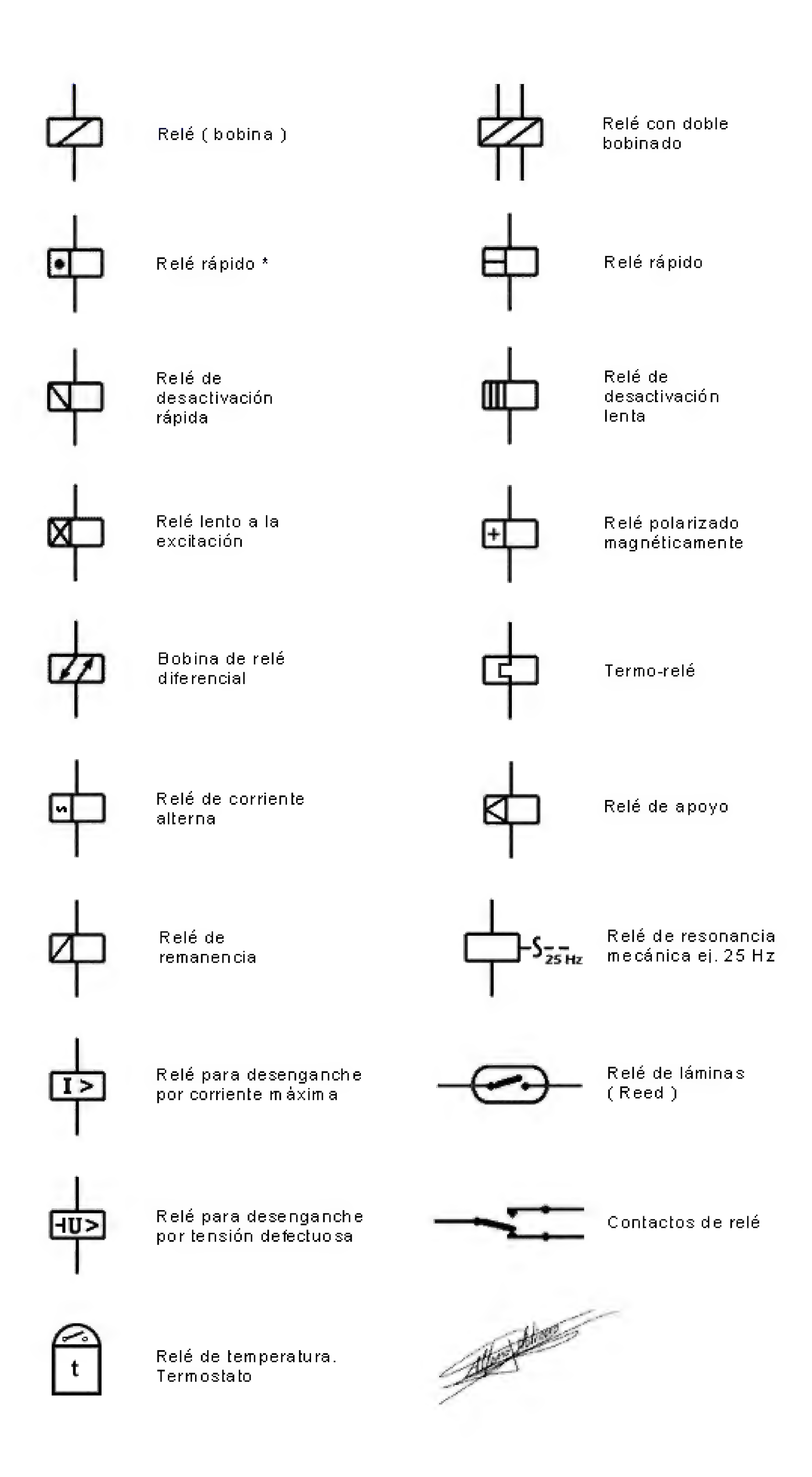


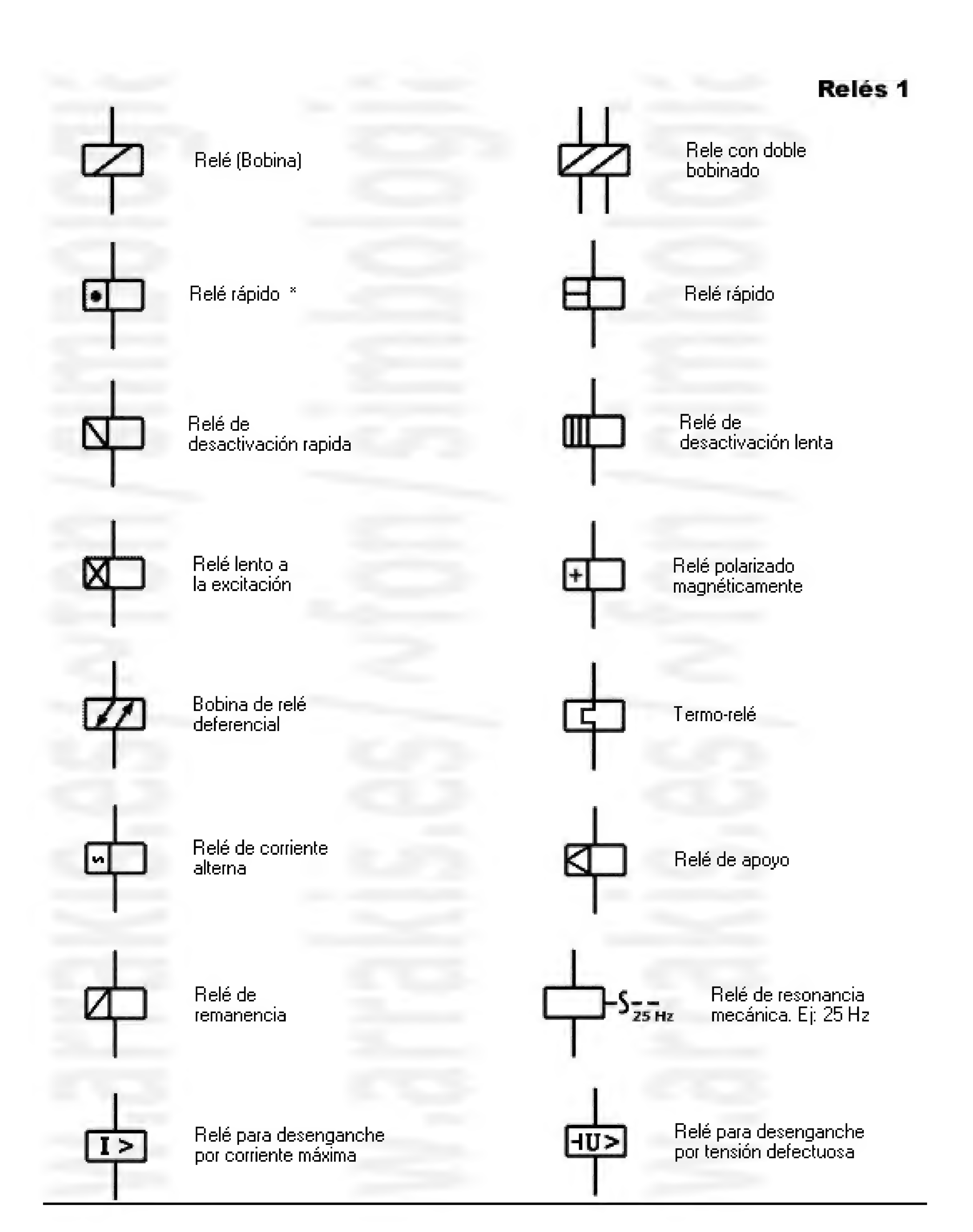
Línea
conductor eléctrico
Dirección de la línea
Punto de unión
borne *
Punto de unión
borne
Punto positivo
Punto negativo
Cruce
sin conexión *
Cruce
sin conexión
Cruce
con conexión *
Cruce
con conexión
Cruce
con conexión *
Conductores
entrelazados
Conductor
blindado *
Conductor
blindado
Conductor
blindado
Pantalla
Línea subterránea
Línea submarina
Tierra
Tierra sin ruido
Punto de conexión
para conductor
de protección
Masa *
Masa
Pasamuros
Línea aérea con
conductores
desnudos
Línea aérea con
conductores
aislados
Línea de separación
marco
Línea bajo enlucido
Radiación nuclear

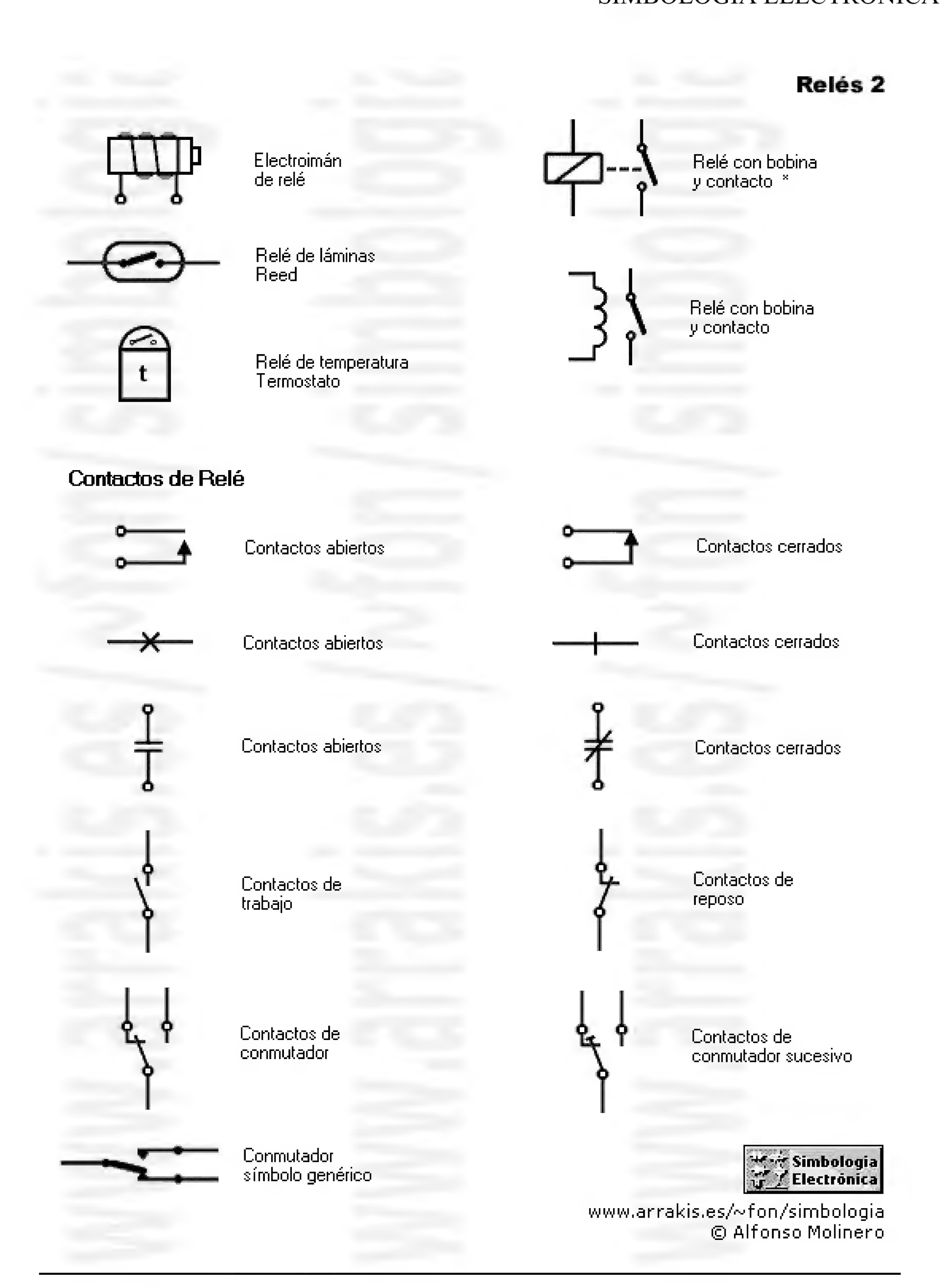

Líneas, conductores ... 1
Línea
conductor eléctrico
Dirección
de línea
Borne
punto de unión *
Borne
punto de unión
Punto
positivo
Punto
negativo
Cruce
sin coneexión *
Cruce
sin conexión
Cruce
con conexión
Cruce
con conexión
Cruce
con conexión *
Conductores
entrelazados
Conductor
blindado *
Conductor
blindado
Conductor
blindado
Pantalla
Línea
subterránea
Línea
submarina
Tierra
Tierra
sin ruido
Punto de
conexión para
conductor de
protección
Masa *
Masa
Pasamuros
Línea aérea con
conductores
desnudos
Línea aérea con
conductores
aislados
Marco,
línea de
separación
Línea bajo
enlucido
Radiación
nuclear
Bus de líneas
Punto de referencia
en un circuito
Salida
de líneas
Acoplamientos
de líneas
Entrada
de líneas
Simbologia
Electrónica
www.arrakis.es/~fon/simbologia
© Alfonso Molinero


Líneas, conductores ... 2
5V
Voltaje de referencia
Ej: 5 Voltios
Zona común
Radiación
no ionizada
Radiación
ionizada
V
Línea de vídeo
T
Línea de teléfono

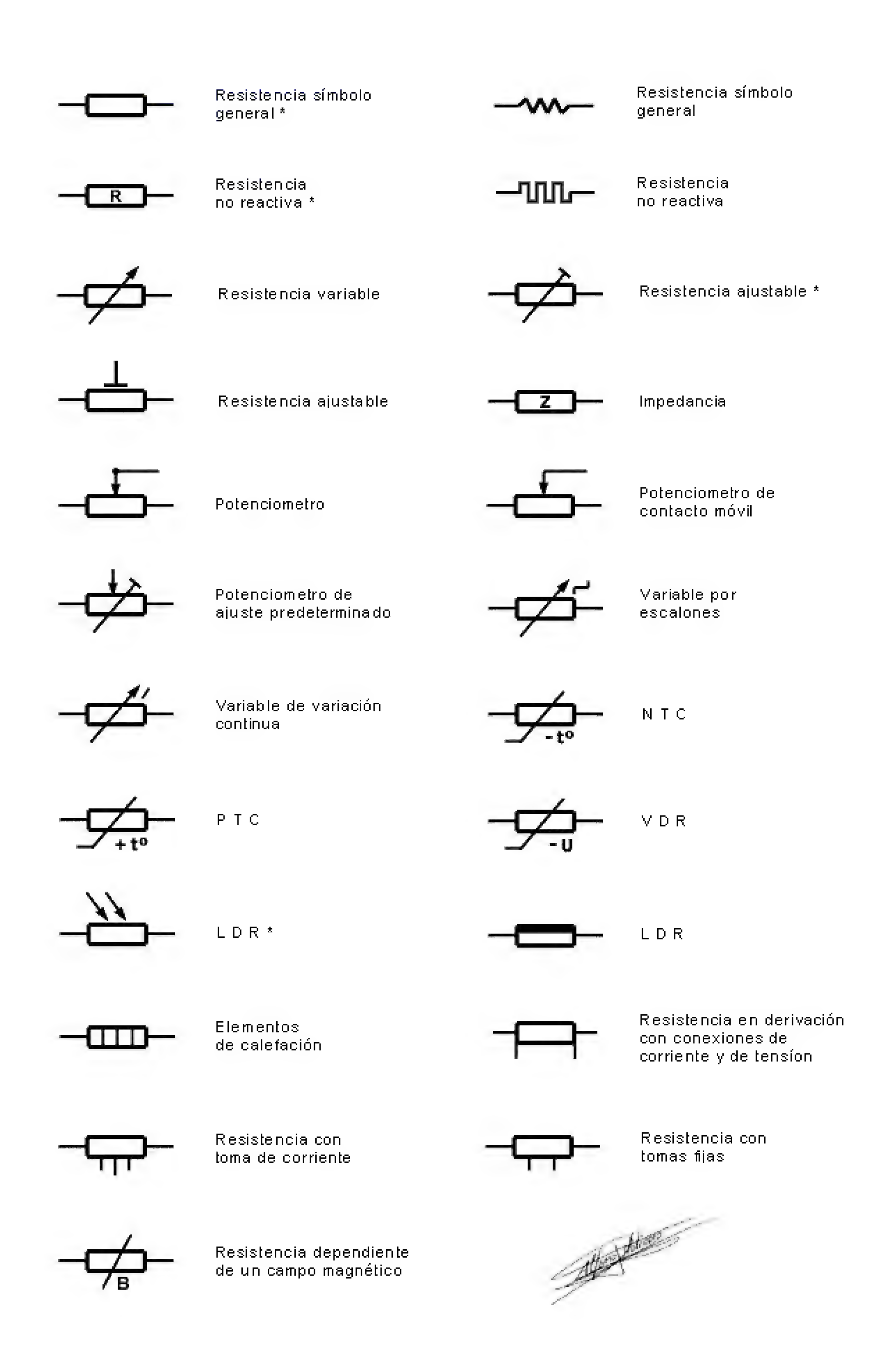
RELÉS


Relé (bobina)
Relé con doble bobinado
Relé rápido *
Relé rápido
Relé de desactivación rápida
Relé de desactivación lenta
Relé lento a la excitación
Relé polarizado magnéticamente
Bobina de relé diferencial
Termo-relé
Relé de corriente alterna
Relé de apoyo
Relé de remanencia
25 Hz
Relé de resonancia mecánica ej. 25 Hz
I >
Relé para desenganche por corriente máxima
Relé de láminas (Reed)
U>
Relé para desenganche por tensión defectuosa
Contactos de relé
t
Relé de temperatura. Termostato


Relés 1
Relé (Bobina)
Rele con doble bobinado
Relé rápido *
Relé rápido
Relé de desactivación rapida
Relé de desactivación lenta
Relé lento a la excitación
Relé polarizado magnéticamente
Bobina de relé deferencial
Termo-relé
Relé de corriente alterna
Relé de apoyo
Relé de remanencia
25 Hz
Relé de resonancia mecánica. Ej: 25 Hz
I >
Relé para desenganche por corriente máxima
U >
Relé para desenganche por tensión defectuosa

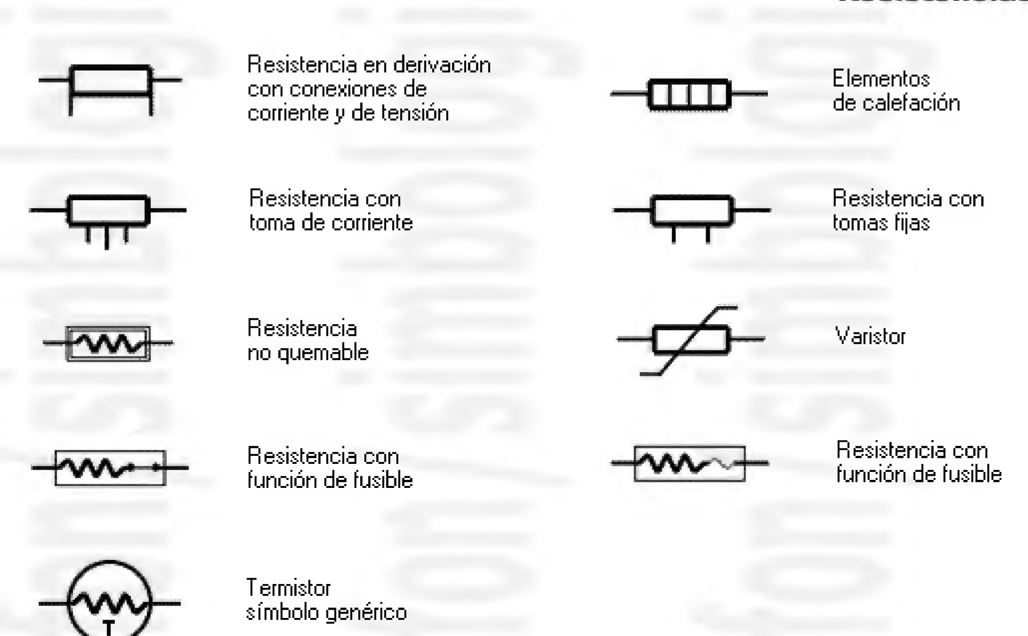

Relés 2
Electroimán de relé
Relé con bobina y contacto *
Relé de láminas Reed
Relé con bobina y contacto
t
Relé de temperatura Termostato
Contactos de Relé
Contactos abiertos
Contactos cerrados
Contactos abiertos
Contactos cerrados
Contactos abiertos
Contactos cerrados
Contactos de trabajo
Contactos de reposo
Contactos de conmutador
Contactos de conmutador sucesivo
Conmutador símbolo genérico
Simbologia Electrónica
www.arrakis.es/~fon/simbologia
© Alfonso Molinero

RESISTENCIAS

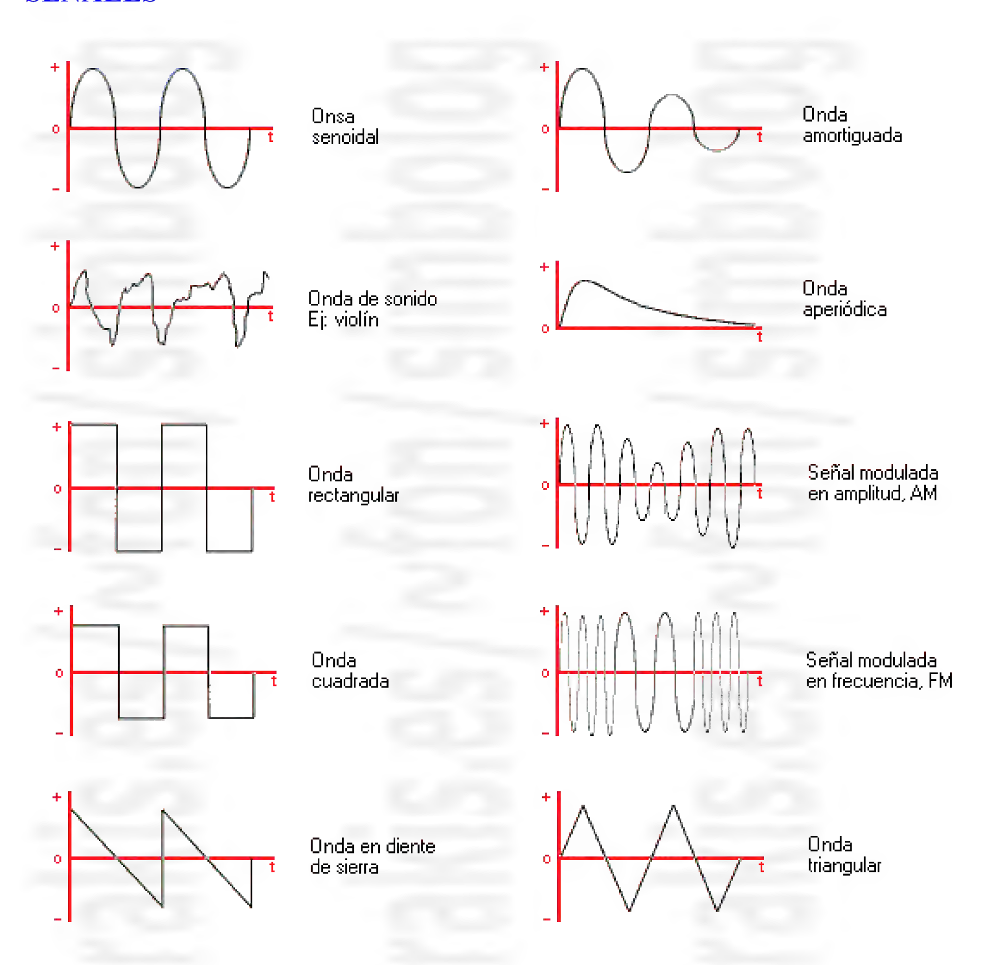


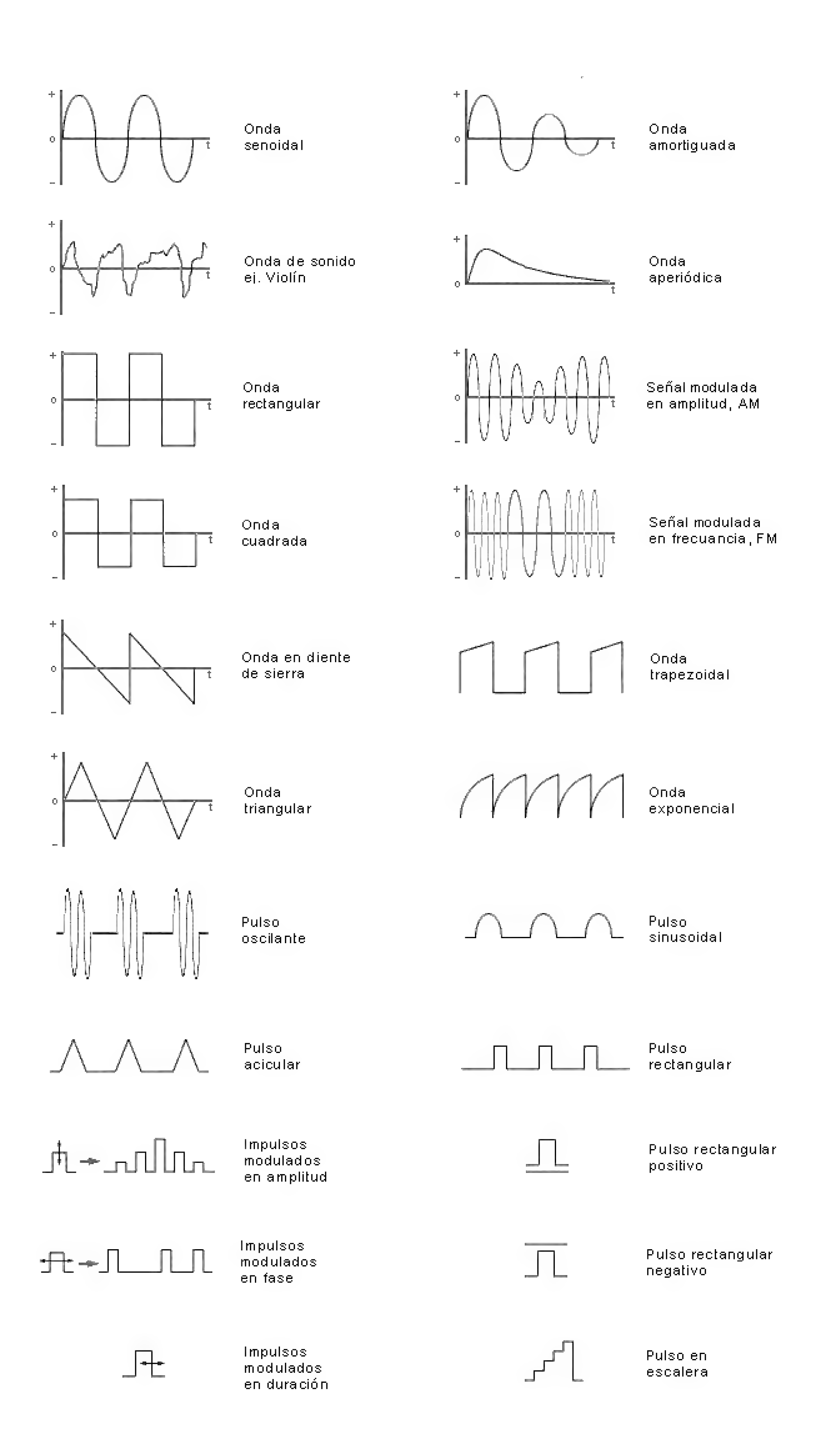
Resistencias 1

Resistencia símbolo general *	Resistencia símbolo general
Resistencia no reactiva *	Resistencia no reactiva
Resistencia variable	Resistencia ajustable *
Resistencia ajustable	Impedancia
Potenciometro	Potenciometro de contacto móvil
Potencia de ajuste predeterminado	R. variable por escalones
R. variable de variación continua	N T C Coeficiente de temperatura negativo
P T C Coeficiente de temperatura positivo	V D R R. dependiente de la tensión
L D R * R. dependiente de la luz	L D R R. dependiente de la luz
Resistencia dependiente de un campo magnético	


Resistencias 2
Resistencia en derivación con conexiones de corriente y de tensión
Elementos de calefación
Resistencia con toma de corriente
Resistencia con tomas fijas
Resistencia no quemable
Varistor
Resistencia con función de fusible
Resistencia con función de fusible
Termistor símbolo genérico

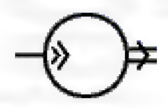
SEÑALES


Onsa senoidal
Onda amortiguada
Onda de sonido Ej: violín
Onda aperiódica
Onda rectangular
Señal modulada en amplitud, AM
Onda cuadrada
Señal modulada en frecuencia, FM
Onda en diente de sierra
Onda triangular


+
0
t
-
Onda
senoidal
Onda
amortiguada
Onda de sonido
ej. Violín
Onda
aperiódica
Onda
rectangular
Señal modulada
en amplitud, AM
Onda
cuadrada
Señal modulada
en frecuancia, FM
Onda en diente
de sierra
Onda
trapezoidal
Onda
triangular
Onda
exponencial
Pulso
oscilante
Pulso
sinusoidal
Pulso
acicular
Pulso
rectangular
Impulsos
modulados
en amplitud
Pulso rectangular
positivo
Impulsos
modulados
en fase
Pulso rectangular
negativo
Impulsos
modulados
en duración
Pulso en
escalera

SINCROS

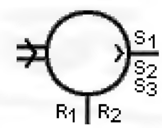
Sincros



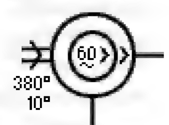
Receptor de par torsor síncrono / TR tipo sincro



Transmisor diferencial sumador de alta potencia (TDX)



Transmisor de control sincro con sus terminales



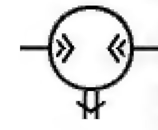
Sistema transmisor sincro con control grueso/fino de 60Mhz



Receptor de control sincro con carcasa impermeable gobernado por A.F.



Transmisor deferencial sumador (TDX)



Receptor diferencial sumador de alta potencia (TDR)

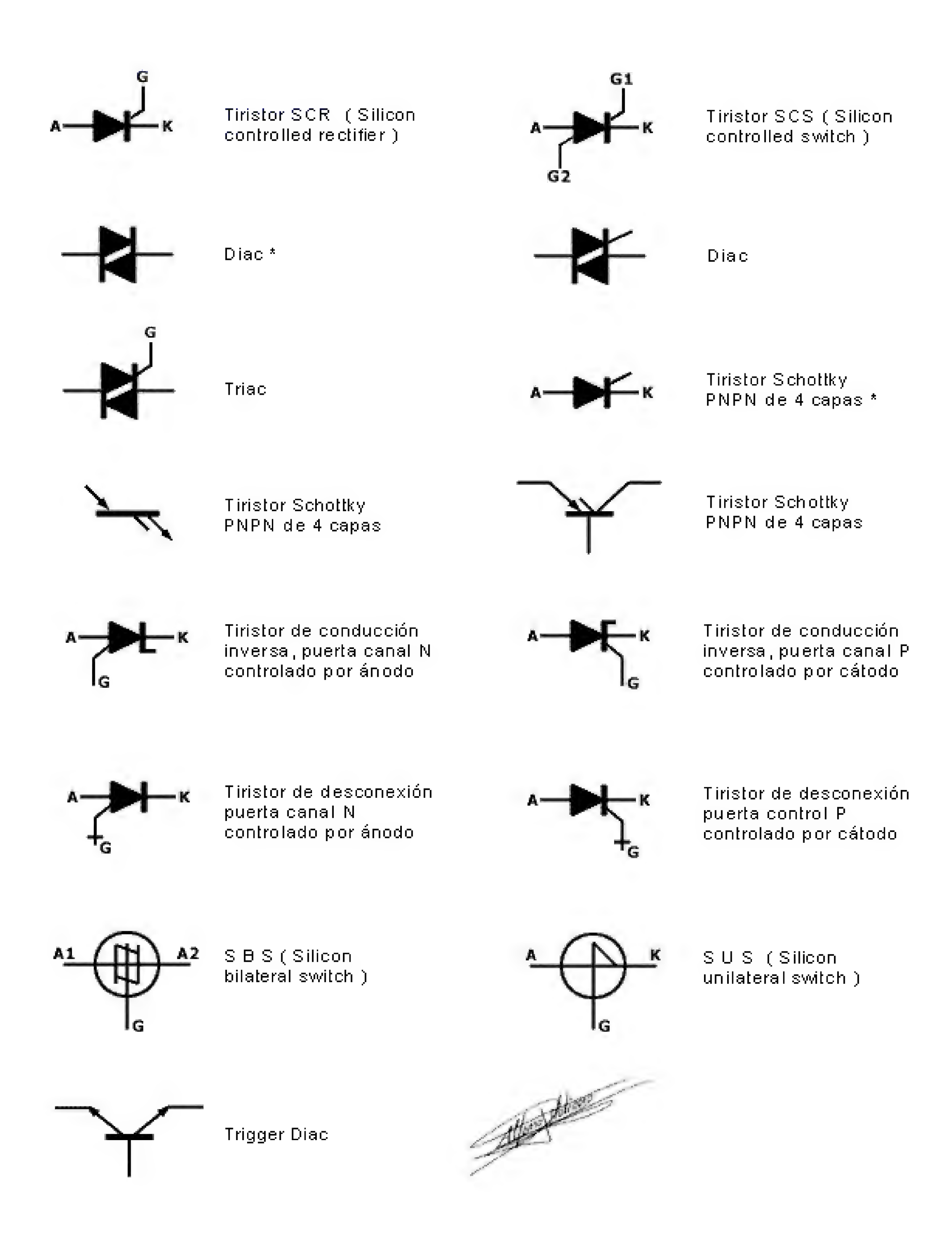


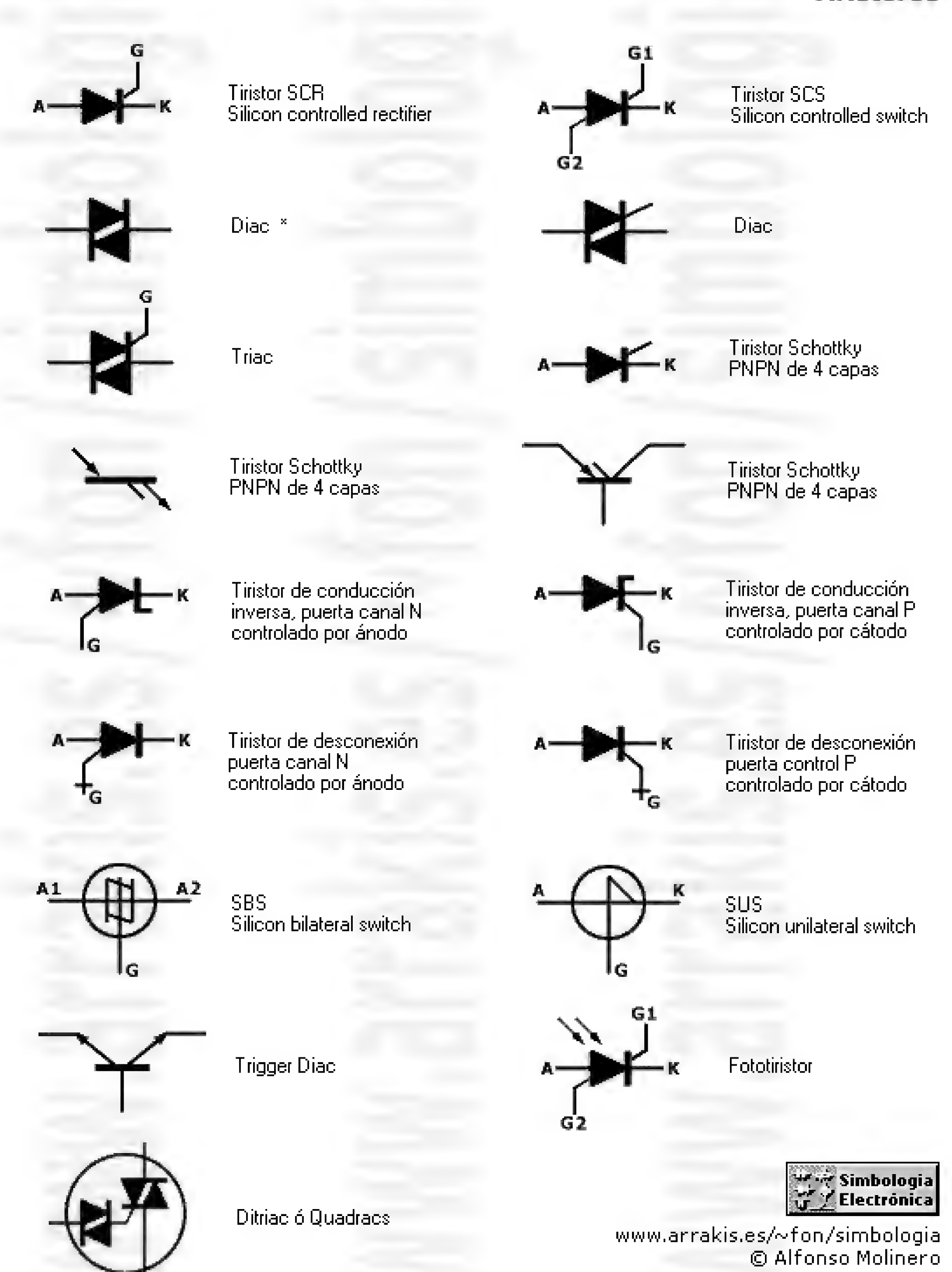
Sincro resolver RS (con bobinados de compensación)



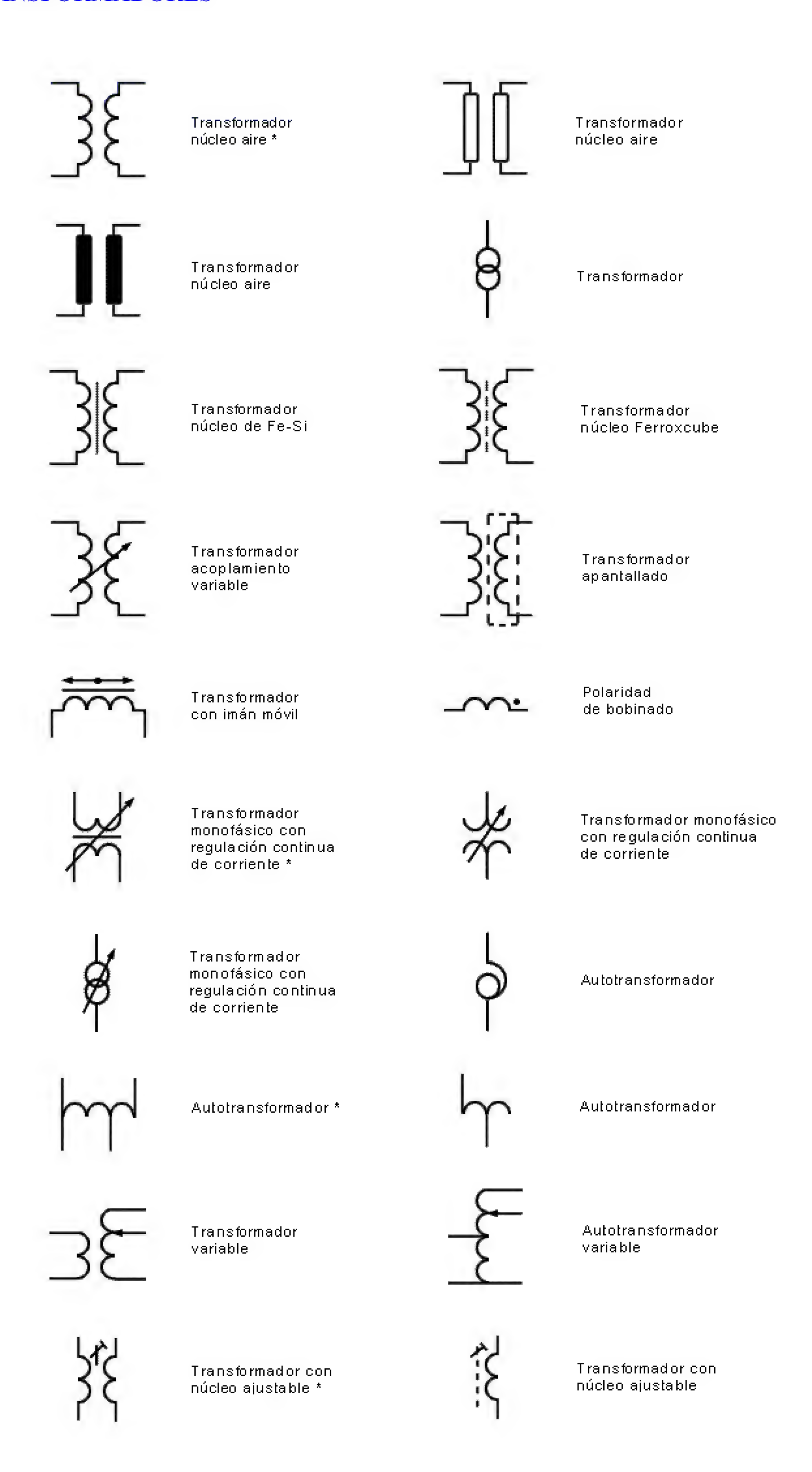
Receptor de control sincro de C.C. de 8 etapas (escalones)

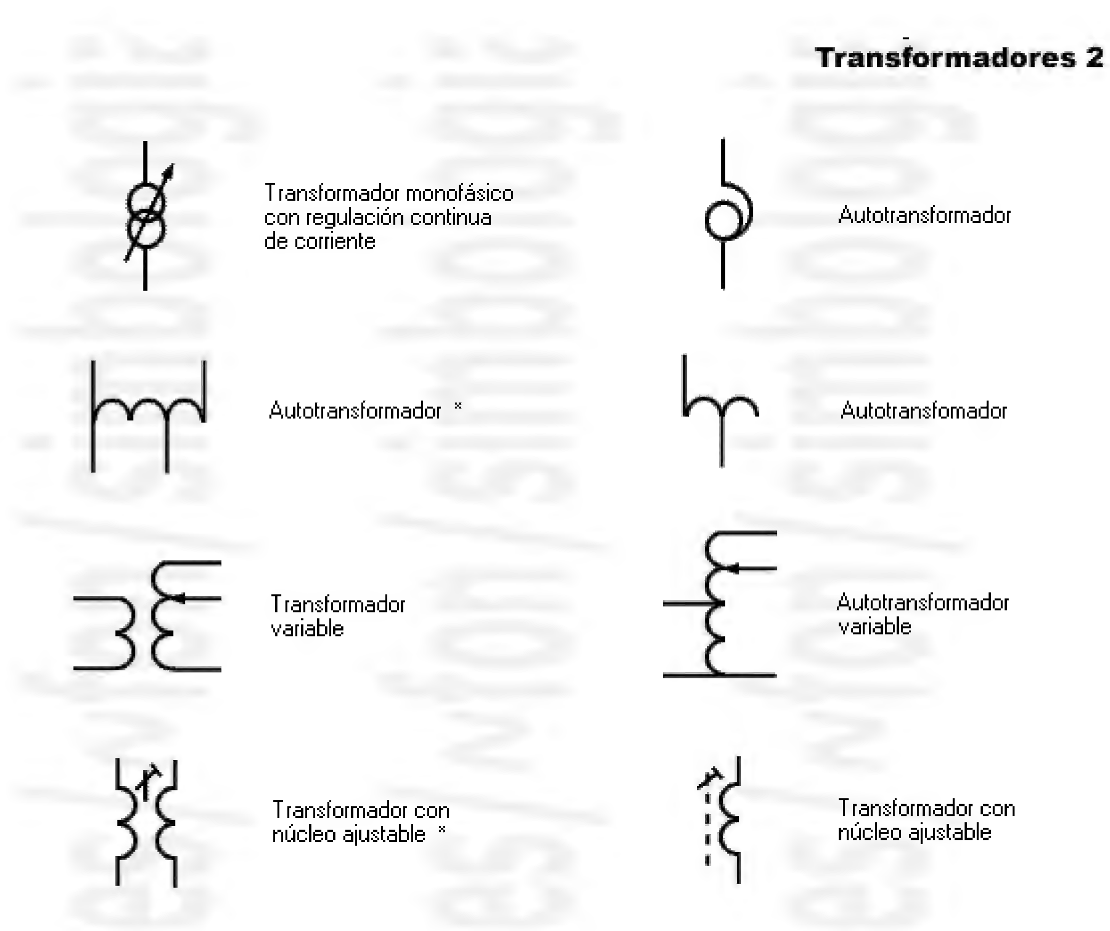
TIRISTORES


G
A
K
Tiristor SCR (Silicon controlled rectifier)
G1
A
K
G2
Tiristor SCS (Silicon controlled switch)
Diac *
Diac
G
Triac
A
K
Tiristor Schottky PNPN de 4 capas *
Tiristor Schottky PNPN de 4 capas
Tiristor Schottky PNPN de 4 capas
A
K
G
Tiristor de conducción inversa, puerta canal N controlado por ánodo
A
K
G
Tiristor de conducción inversa, puerta canal P controlado por cátodo
A
K
G
Tiristor de desconexión puerta canal N controlado por ánodo
A
K
G
Tiristor de desconexión puerta control P controlado por cátodo
A1
A2
G
S B S (Silicon bilateral switch)
A
K
G
S U S (Silicon unilateral switch)
Trigger Diac

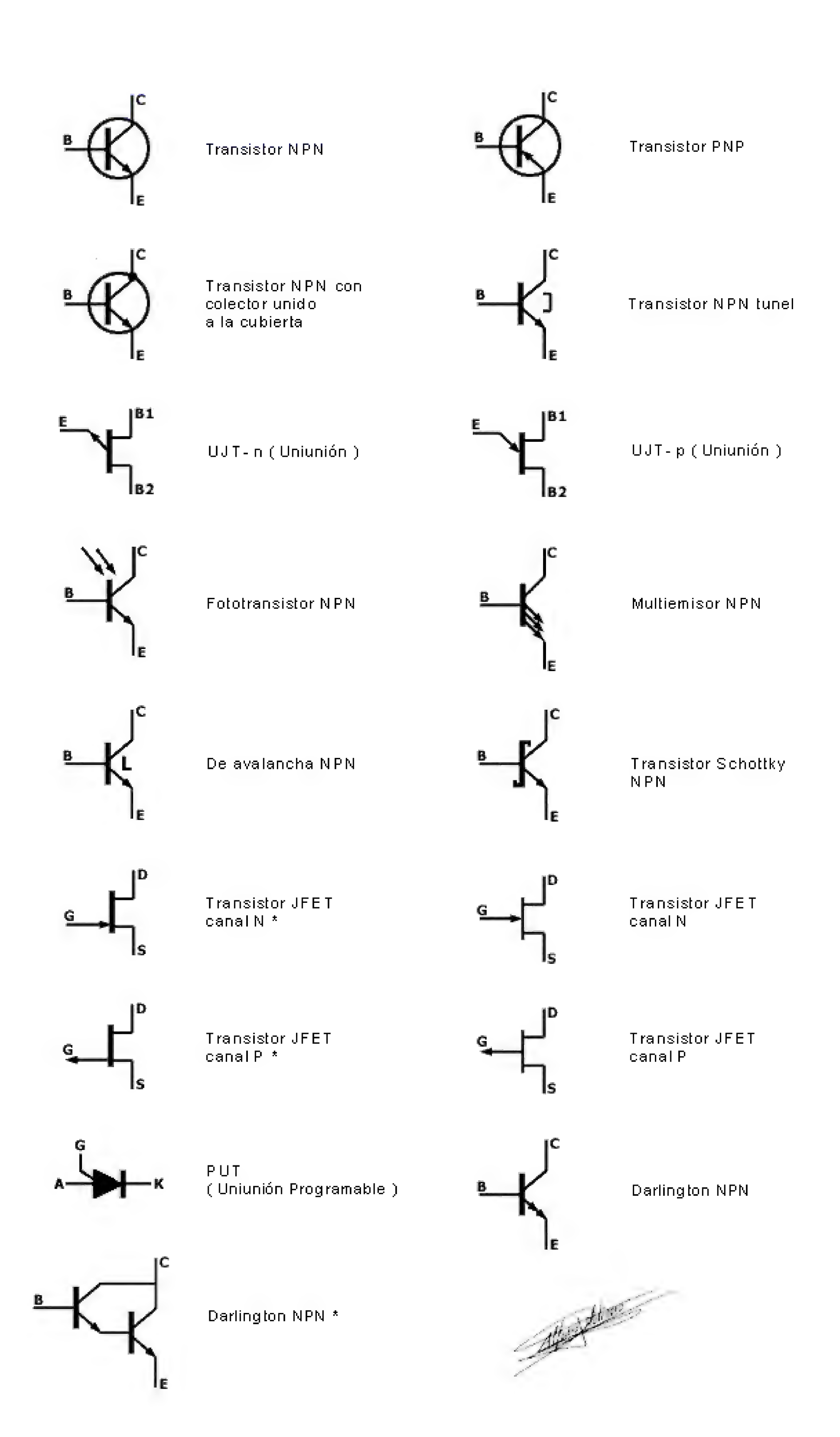

Tiristores
G
A
K
Tiristor SCR
Silicon controlled rectifier
G1
G2
Tiristor SCS
Silicon controlled switch
Diac *
Diac
Triac
Tiristor Schottky
PNPN de 4 capas
Tiristor Schottky
PNPN de 4 capas
Tiristor Schottky
PNPN de 4 capas
Tiristor de conducción
inversa, puerta canal N
controlado por ánodo
Tiristor de conducción
inversa, puerta canal P
controlado por cátodo
Tiristor de desconexión
puerta canal N
controlado por ánodo
Tiristor de desconexión
puerta control P
controlado por cátodo
A1
A2
SBS
Silicon bilateral switch
SUS
Silicon unilateral switch
Trigger Diac
Fototiristor
Ditriac ó Quadracs
Simbologia
Electrónica
www.arrakis.es/~fon/simbologia
© Alfonso Molinero

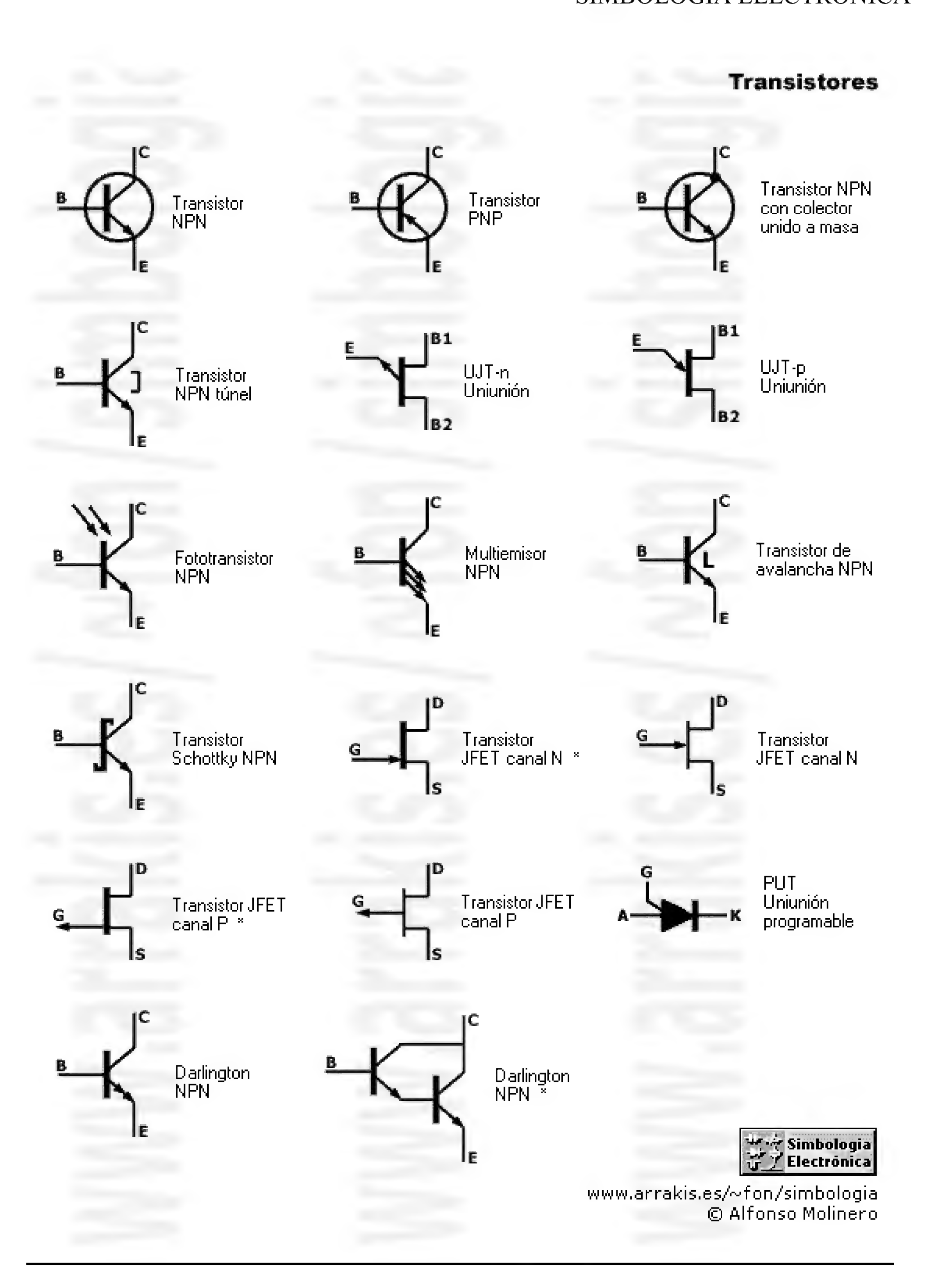
TRANSFORMADORES



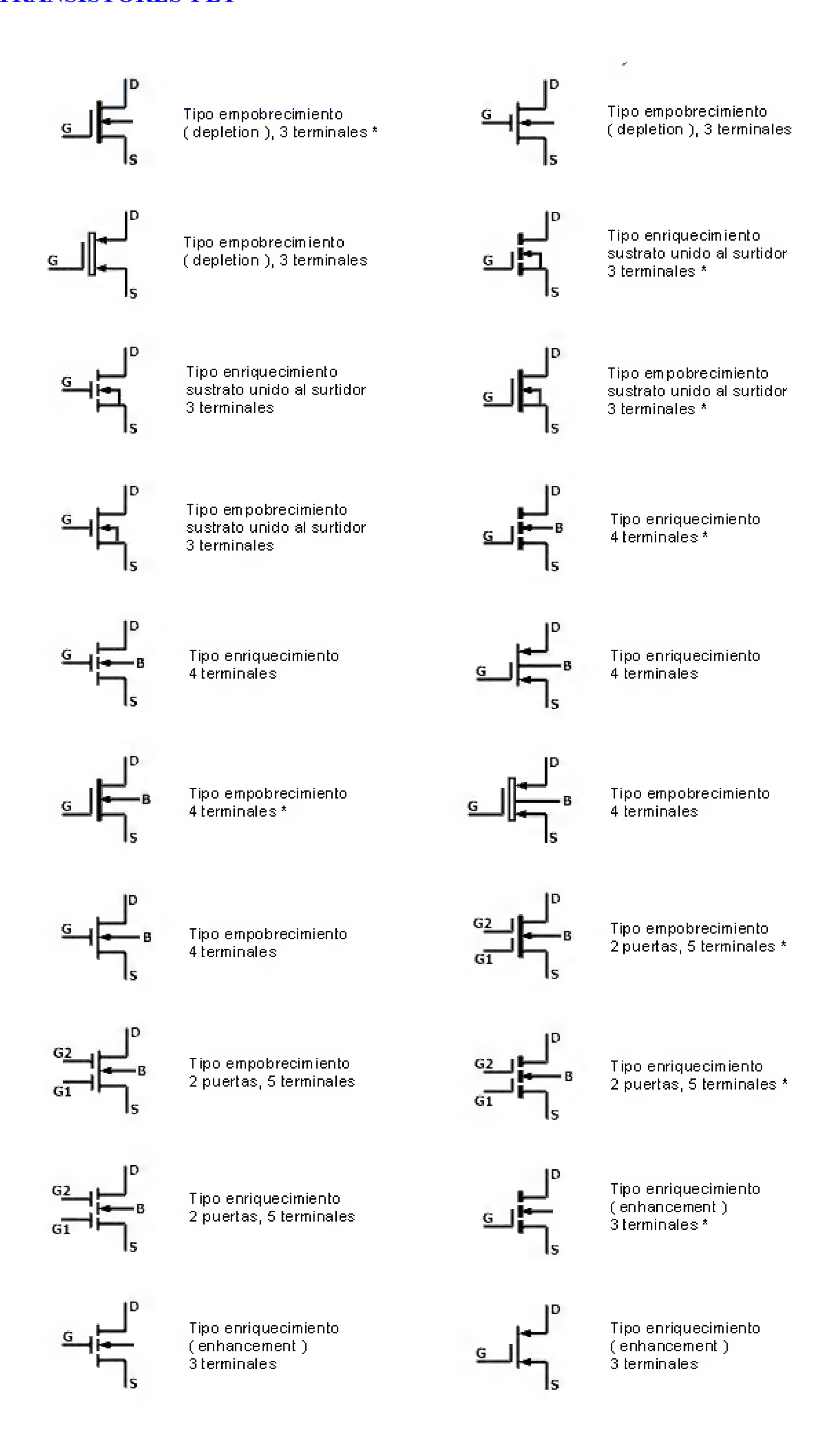

Transformadores 2
Transformador monofásico
con regulación continua
de corriente
Autotransformador
Autotransformador *
Autotransfomador
Transformador
variable
Autotransformador
variable
Transformador con
núcleo ajustable *
Transformador con
núcleo ajustable

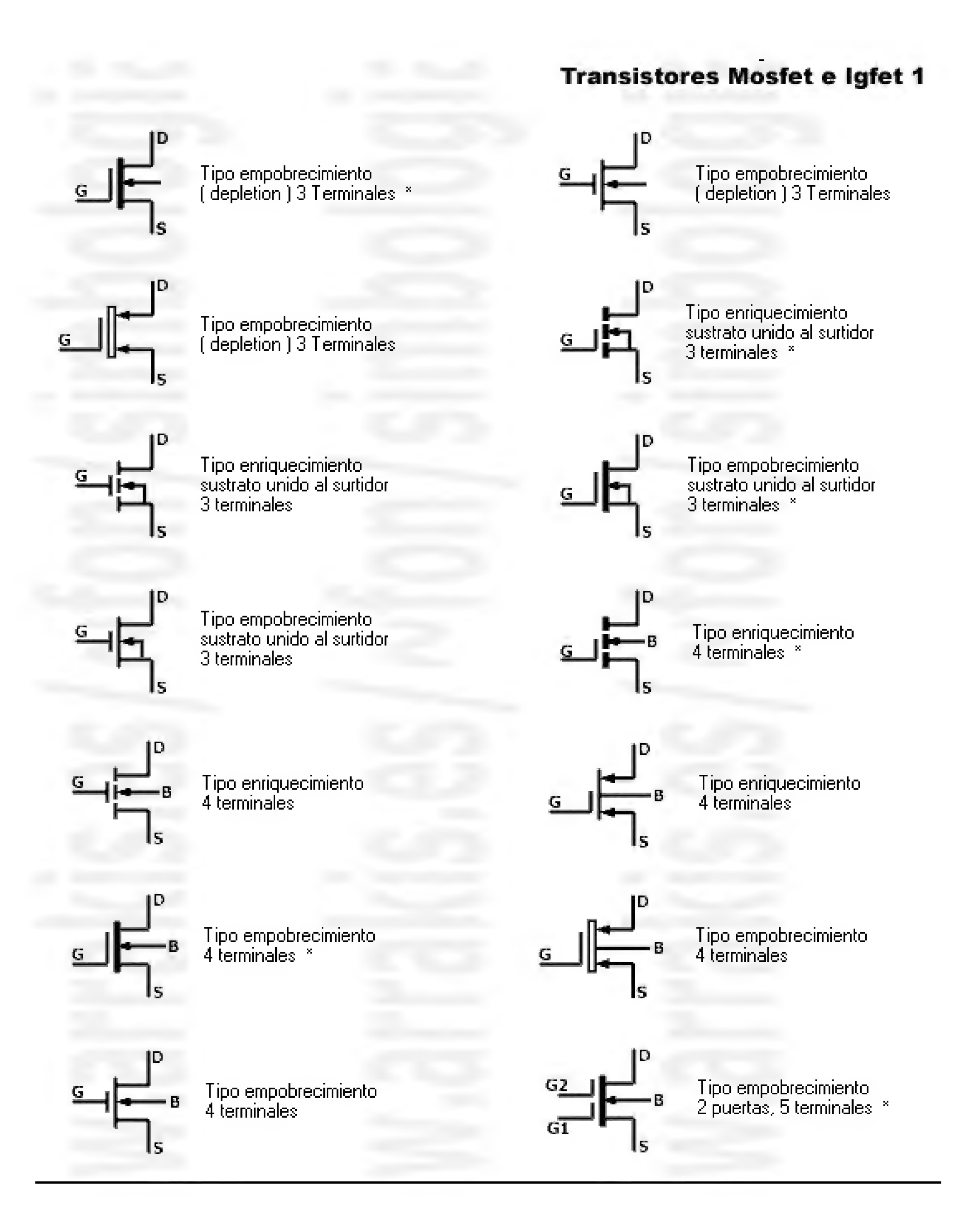
TRANSISTORES




Transistores
C
B
E
Transistor NPN
Transistor PNP
Transistor NPN con colector unido a masa
Transistor NPN túnel
B1
B2
UJT-n Uniunión
UJT-p Uniunión
Fototransistor NPN
Multiemisor NPN
Transistor de avalancha NPN
Transistor Schottky NPN
D
G
S
Transistor JFET canal N *
Transistor JFET canal N
Transistor JFET canal P *
Transistor JFET canal P
A
K
PUT Uniunión programable
Darlington NPN
Darlington NPN *
Simbologia Electrónica
www.arrakis.es/~fon/simbologia
© Alfonso Molinero

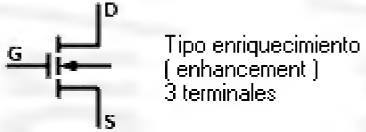
TRANSISTORES-FET

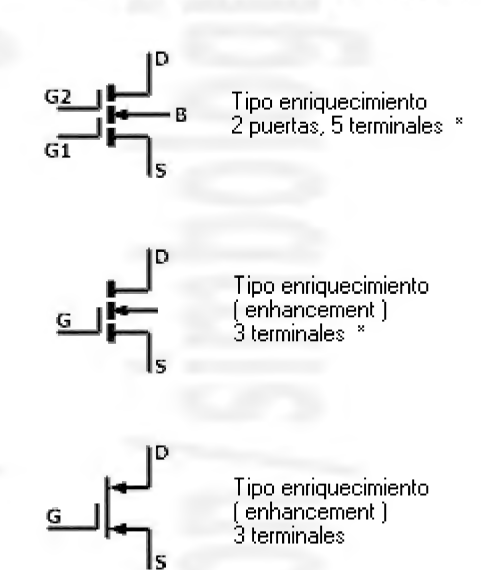



Transistores Mosfet e Igfet 1
D
G
S
Tipo empobrecimiento
(depletion) 3 Terminales *
Tipo empobrecimiento
(depletion) 3 Terminales
Tipo empobrecimiento
(depletion) 3 Terminales
Tipo enriquecimiento
sustrato unido al surtidor
3 terminales *
Tipo enriquecimiento
sustrato unido al surtidor
3 terminales
Tipo empobrecimiento
sustrato unido al surtidor
3 terminales *
Tipo empobrecimiento
sustrato unido al surtidor
3 terminales
B
Tipo enriquecimiento
4 terminales *
Tipo enriquecimiento
4 terminales
Tipo enriquecimiento
4 terminales
Tipo empobrecimiento
4 terminales *
Tipo empobrecimiento
4 terminales
Tipo empobrecimiento
4 terminales
G2
G1
Tipo empobrecimiento
2 puertas, 5 terminales *

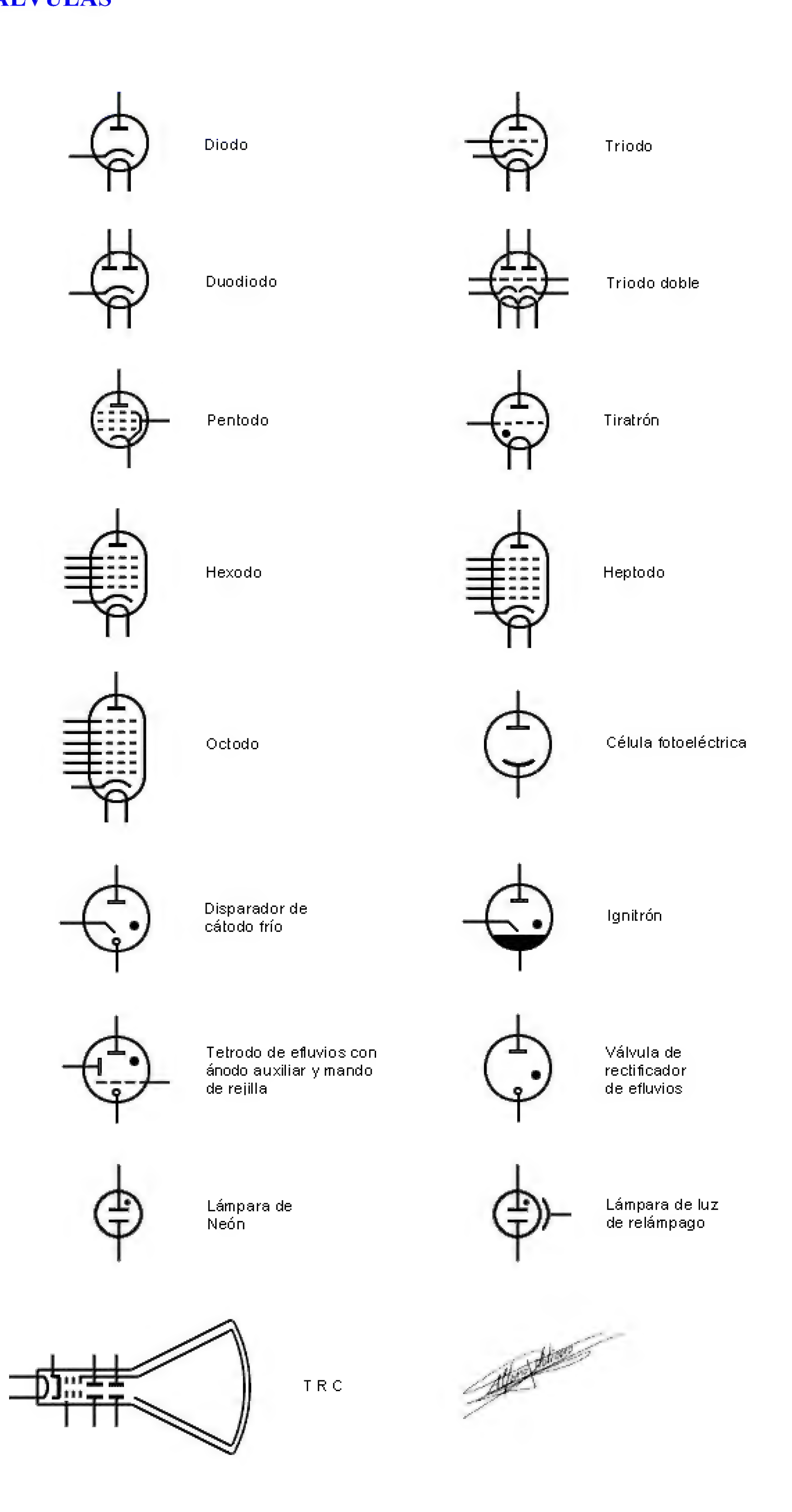
Transistores Mosfet e Igfet 2

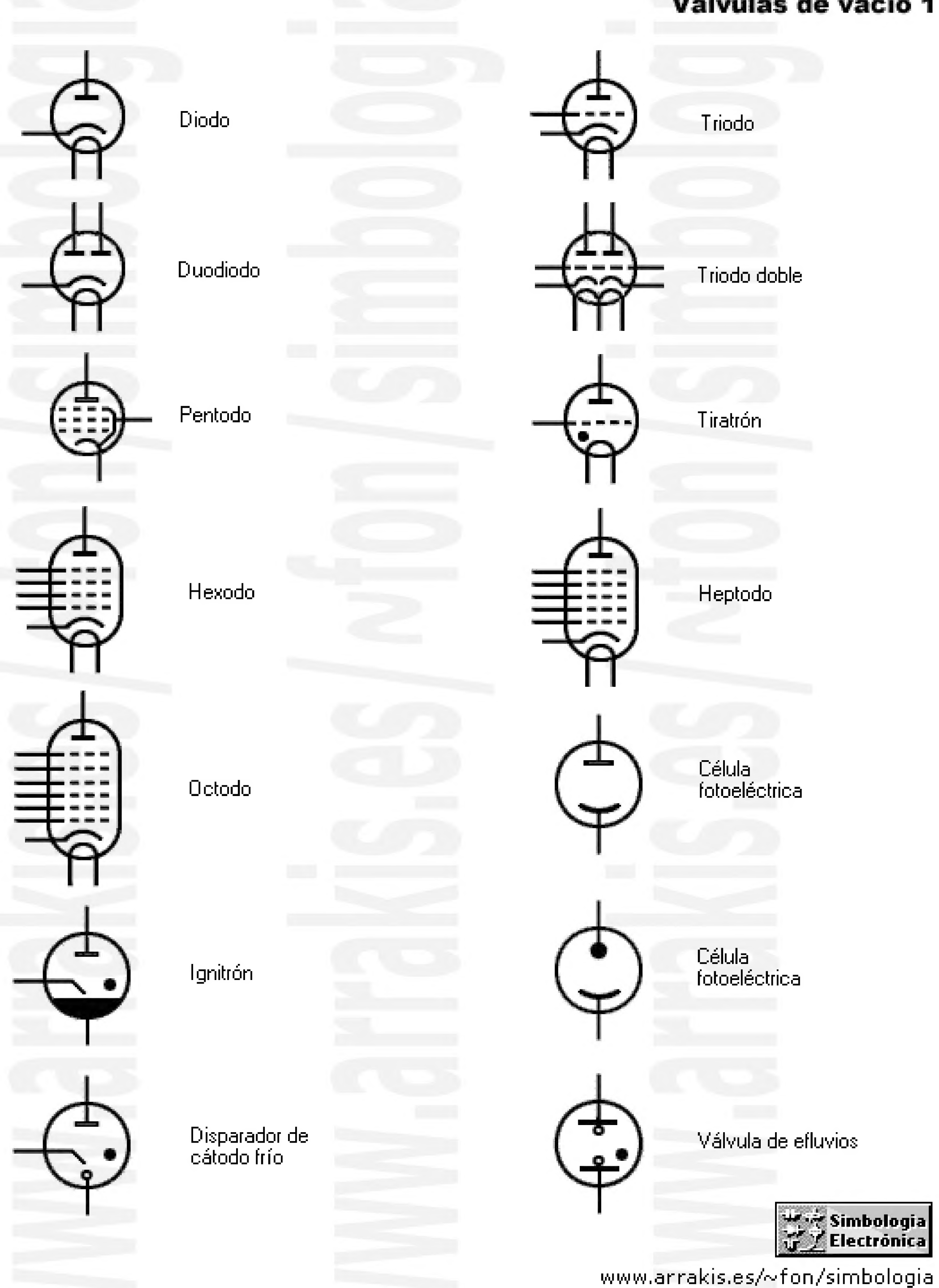


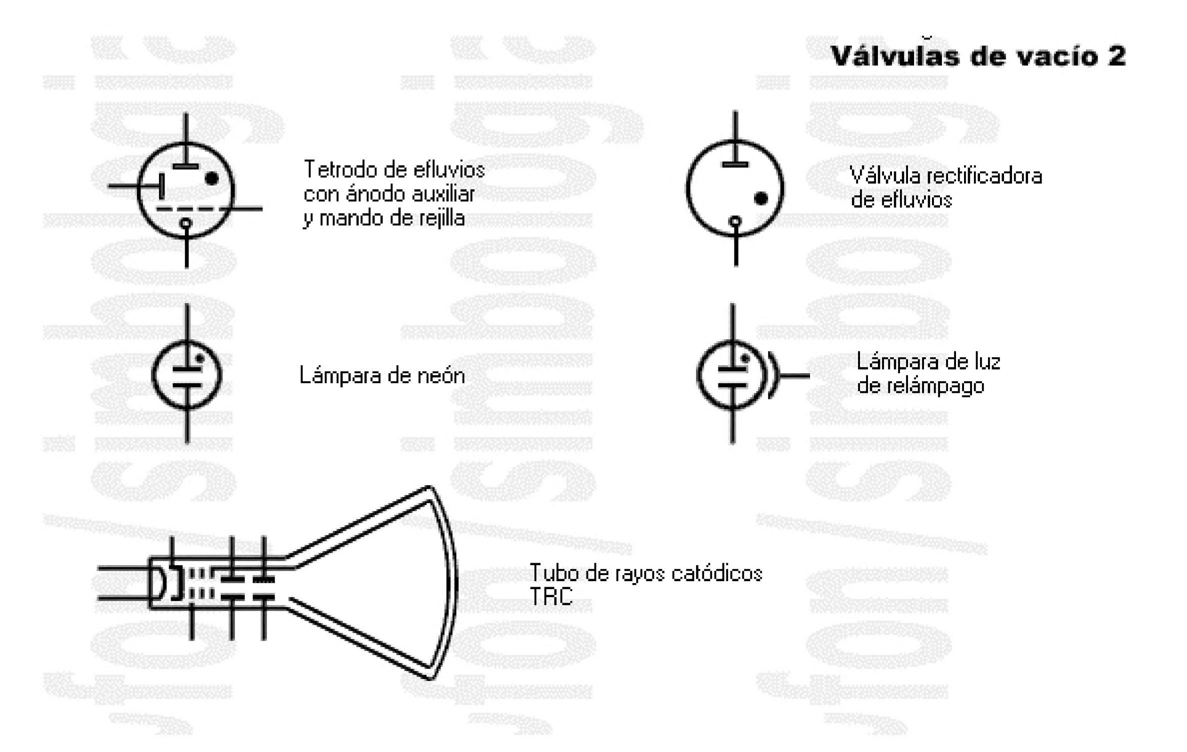




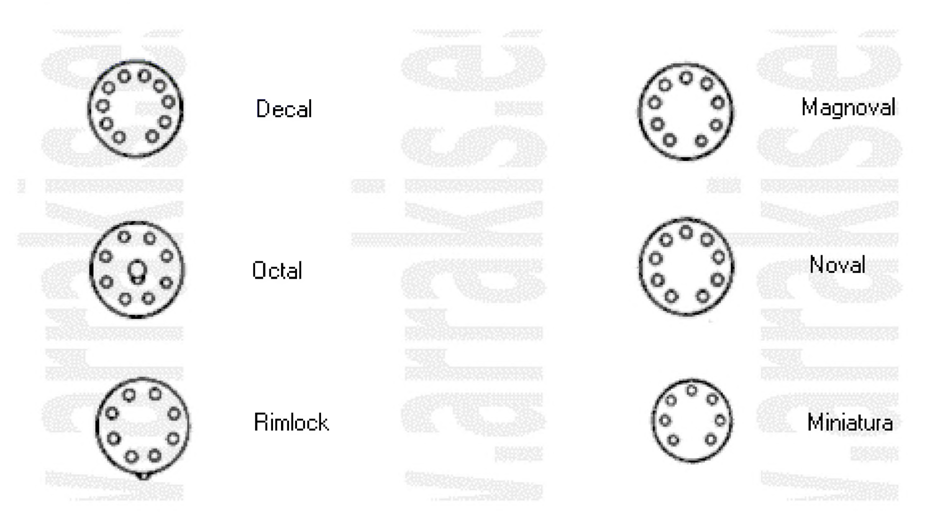
VÁLVULAS


Diodo
Triodo
Duodiodo
Triodo doble
Pentodo
Tiratrón
Hexodo
Heptodo
Octodo
Célula fotoeléctrica
Disparador de
cátodo frío
Ignitrón
Tetrodo de efluvios con
ánodo auxiliar y mando
de rejilla
Válvula de
rectificador
de efluvios
Lámpara de
Neón
Lámpara de luz
de relámpago
T R C

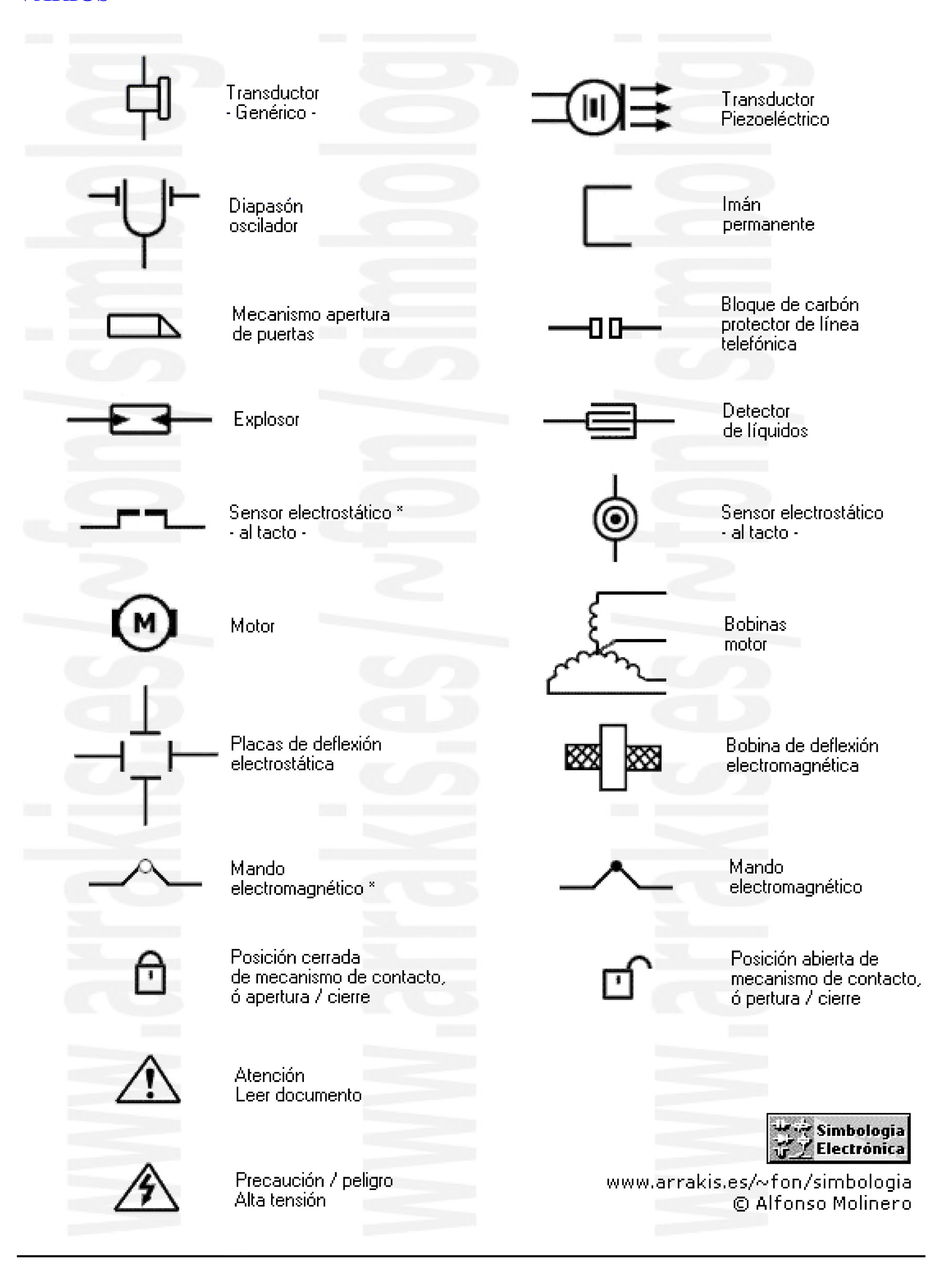

Válvulas de vacío 1
Diodo
Triodo
Duodiodo
Triodo doble
Pentodo
Tiratrón
Hexodo
Heptodo
Octodo
Célula fotoeléctrica
Ignitrón
Célula fotoeléctrica
Disparador de cátodo frío
Válvula de efluvios
Simbologia Electrónica
www.arrakis.es/~fon/simbologia
© Alfonso Molinero

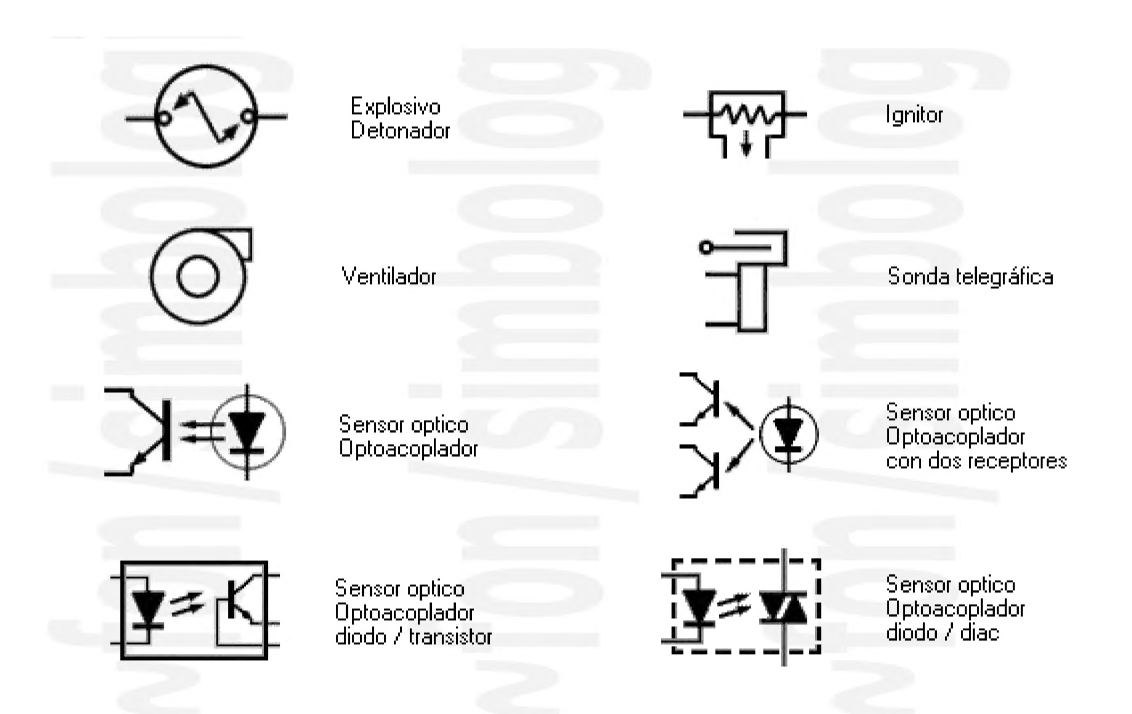

Válvulas de vacío 2
Tetrodo de efluvios
con ánodo auxiliar
y mando de rejilla
Válvula rectificadora
de efluvios
Lámpara de neón
Lámpara de luz
de relámpago
Tubo de rayos catódicos
TRC

ZÓCALOS


Decal
Magnoval
Octal
Noval
Rimlock
Miniatura

VARIOS


Transductor
- Genérico -
Transductor
Piezoeléctrico
Diapasón
oscilador
Imán
permanente
Mecanismo apertura
de puertas
Bloque de carbón
protector de línea
telefónica
Explosor
Detector
de líquidos
Sensor electrostático *
- al tacto -
Sensor electrostático
- al tacto -
Motor
Bobinas
motor
Placas de deflexión
electrostática
Bobina de deflexión
electromagnética
Mando
electromagnético *
Mando
electromagnético
Posición cerrada
de mecanismo de contacto,
ó apertura / cierre
Posición abierta de
mecanismo de contacto,
ó pertura / cierre
Atención
Leer documento
Precaución / peligro
Alta tensión
Simbologia
Electrónica
www.arrakis.es/~fon/simbologia
© Alfonso Molinero


Explosivo
Detonador
Ignitor
Ventilador
Sonda telegráfica
Sensor optico
Optoacoplador
Sensor optico
Optoacoplador
con dos receptores
Sensor optico
Optoacoplador
diodo / transistor
Sensor optico
Optoacoplador
diodo / diac